

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Robin Bojko

**VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Hlasovací zařízení na bázi mikrokontroléru
Voting system based on a microcontroller**

2013

Robin Bojko

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Robin Bojko**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Hlasovací zařízení na bázi mikrokontroléru**
Voting System Based on Microcontroller

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je vývoj funkčního prototypu zařízení pro hlasování/volbu odpovědi ze 4 variant a přihlašování. Výsledné zařízení musí být možno začlenit do sítě stejných modulů, ať již pomocí komunikace po kabelu (sériová linka/USB) tak bezdrátově (Bluetooth). Předmětem práce je výběr vhodného mikrokontroléru a periferních obvodů, následný návrh zapojení a plošného spoje, výroba prototypu, jeho naprogramování a odzkoušení. Práce nemusí řešit mechanické provedení výsledného zařízení (krabíčka, tlačítka), ani vyšší uživatelský SW na PC (postačí pouze demonstrační klient zobrazující čas stisku jednotlivých tlačítek).

1. Rozbor komerčně dostupných řešení hlasovacích zařízení.
2. Funkční analýza vyvíjeného systému.
3. Návrh koncepce hlasovacího zařízení, návrh HW a SW řešení.
4. Realizace prototypu zařízení včetně SW.
5. Testování systému a realizace pilotního provozu.
6. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle požadavků zadávající firmy Elvac IPC.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ FIRMY ELVAC a.s.

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské/diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne: 7.5.2013

 **ELVAC**
ELVAC a. s.
Heslovská 53, 700 30 Ostrava-Hrabůvka
IČO: 25833812, DIČ: CZ25833812
Tel.: +420 597 407 102, Fax: +420 597 407 102


Jan Grossmann
Technický ředitel

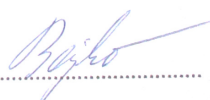
PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi Ph.D. za pomoc a odborné konzultace v průběhu tvorby této práce. Dále bych rád poděkoval Janu Grossmannovi (technickému řediteli firmy ELVAC a.s.) za externí konzultace, výbornou spolupráci a pomoc při výrobě desek plošných spojů.

PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum: 7.5.2013

Podpis: 

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci hlasovacího zařízení řízeného pomocí mikrokontroléru. Výsledek práce by měl být ve formě hlasovacího zařízení využívající jak více způsobů napájení tak i komunikace s nadřazeným systémem. Požadavek na tvorbu tohoto zařízení byl podán firmou ELVAC a.s. se sídlem v Ostravě. Cílem práce je vývoj funkčního prototypu zařízení pro hlasování/volbu odpovědi ze 4 variant a přihlašování. Výsledné zařízení musí být možno začlenit do sítě stejných modulů, ať již pomocí komunikace po kabelu (sériová linka/USB) tak bezdrátově (bluetooth). Předmětem práce je výběr vhodného mikrokontroléru a periferních obvodů, následný návrh, výroba a osazení plošného spoje, výroba prototypu, jeho naprogramování a odzkoušení. Práce nemusí řešit mechanické provedení výsledného zařízení (krabice, tlačítka), ani vyšší uživatelský SW na PC (postačí pouze demonstrační klient zobrazující čas stisku jednotlivých tlačítek).

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the design and implementation of the voting system controlled by a microcontroller. Result of the work should be in the form of a voting system that uses multiple ways to power and communication with master system. The requirement for the creation of this device was given by ELVAC SpA based in Ostrava. The aim of this work is the development of a functional prototype device for voting and selection responses from four options and passing. The final device has to be integrated into a network of identical modules, through communication cable (serial line / USB) and wireless (bluetooth). Another aim of this thesis is the selection of microcontroller and peripheral circuits, sequential design, manufacture and installation of parts on a circuit board, prototype production, its programming and testing. Work does not have to deal with the mechanical design of the final device (box, buttons , etc..) Or higher user software on a PC (requires only demo client that shows the time of pressing the button).

KLÍČOVÁ SLOVA

PC, mikrokontrolér; ATMEL, ATXmega, vyrovnávací paměť, FIFO, stabilizátor; software, firmware, programátor, dosah zařízení, bluetooth. USB, sériový port, QTOUCH, akumulátor, komunikační protokol, prototyp

KEYWORDS

PC, microcontroller, ATMEL, ATXmega, buffer, FIFO, voltage regulátor, software, firmware, , programmer, device range, bluetooth. USB, serial port, QTOUCH, battery, communication protokol, prototype

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UART	- Synchronní nebo asynchronní sériové rozhraní
PC	- Osobní počítač
LED	- Dioda emitující světlo
IO	- Označení bloku vstupů a výstupů
TTL	- Tranzistorově-tranzistorová logika
GND	- Označení nulového potenciálu
DC	- Označení stejnosměrného proudu nebo napětí
RC	- Ve smyslu (RC člen) je spojení rezistoru a kondenzátoru
ISP	- Programovací rozhraní mikrokontrolérů
I2C	- Multi-masterová počítačová sériová sběrnice
AVR	- Programovací prostředí k vývoji programů pro mikrokontroléry firmy ATMEL
C	- Označení jazyka použitého k vývoji programů pro mikrokontroléry
USB	- Komunikační rozhraní používané u osobních počítačů
SMD	- Součástka určená pro povrchovou montáž
.HEX	- Formát souborů pro nahrávání dat do paměti mikrokontrolérů
VOID	- Typ metody v programovacím jazyku C
Pull-up	- Rezistory definující stav nezapojeného vstupu nebo výstupu
V-USB	- Programová implementace rozhraní USB určená pro mikrokontroléry AVR
.NET	- Soubor technologií v softwarových produktech tvořící celou platformu pro různá prostředí (Web, Windows, Pocket PC)
EVS	- Hlasovací zařízení firmy ELVAC a.s.
TWI	- Dvouvodičová sériová sběrnice
DPS	- Deska plošného spoje
RFID	- Technologie bezdrátové identifikace
VCC	- Napájení
GND	- Signál s nulovým potenciálem
WIFI	- Standard pro bezdrátovou komunikaci
RS232	- Sériová linka počítače (sériový port)
AES-128	- Typ šifrování dat a přenosů
BDM	- Typ programovacího rozhraní
JTAG	- Typ programovacího rozhraní
PDI	- Programovací rozhraní od firmy Atmel
SPI	- Komunikační sběrnice (sériová)
ID	- Identifikační číslo nebo kód

OBSAH

1	Úvod	1
2	Rozbor komerčně dostupných řešení hlasovacích zařízení.....	2
2.1	Bitart s.r.o. - Bezdrátový hlasovací systém.....	2
2.2	Bezdrátová hlasovací jednotka WiVo Element a WiVo Compact.....	3
2.3	SMART TECHNOLOGIES Hlasovací systém Turning Point	3
2.4	Výsledek provedeného rozboru.....	4
2.4.1	Srovnání cen jednotlivých produktů	5
3	Funkční analýza vyvíjeného systému.....	6
3.1	Požadavky na vyvíjený systém položené firmou ELVAC a.s.	6
3.2	Individuálně zvolená kritéria.....	6
3.3	Funkční analýza	7
3.4	Popis komunikačních standardů navrhovaného zařízení	8
3.4.1	USB.....	8
3.4.2	Architektura USB	9
3.4.3	V-USB	10
3.4.4	Bezdrátová komunikace.....	10
3.4.5	Nabíjecí obvody Li-ion akumulátorů pro rozhraní USB	12
3.4.6	QTOUCH technologie	13
4	Návrh koncepce hlasovacího zařízení, návrh HW a SW řešení.	14
4.1	Návrh konceptu zařízení	14
4.1.1	Popis konceptu.....	15
4.2	Výčet možných řešení	15
4.3	Zvolené řešení	17
4.4	Popis zvoleného řešení.....	18
4.5	Popis vybraného mikrokontroléru ATXmega128.....	19
4.5.1	Vlastnosti vybraného mikrokontroléru	19
4.5.2	Komunikační standardy řady ATXmega	20
4.6	Bluetooth modul BTM112	21
5	Technické a realizační řešení.....	23
5.1	Návrh jištění obvodu	23
5.2	Výběr programátoru	23
5.2.1	UniProg-USB - univerzální programátor v1.0.....	24
5.3	Popis zapojení:	26
5.4	Popis navrhnuté desky plošného spoje:.....	28
5.5	Návrh chladiče stabilizátoru.....	29
5.6	Zhodnocení prostředí a výběr materiálu pro DPS.....	31
5.6.1	Materiály na základě fenolických pryskyřic	31
5.6.2	Materiály na základě epoxidových pryskyřic	31
5.7	Firmware pro Mikrokontrolér	32
5.7.1	Navrhnutý systém komunikace.....	32
5.7.2	Komunikační protokol	34
5.7.3	Topologie řídicího programu	35

5.7.4	Volba ID zařízení.....	37
6	Testování systému a realizace pilotního provozu.....	39
6.1	Testovací klient pro PC.....	39
6.2	Měření dosahu zařízení	41
6.3	Měření spotřeby zařízení.....	41
6.4	Realizace testovacího provozu	42
7	Závěr	43
8	Literatura	45
9	Seznam příloh.....	47

1 Úvod

Účelem této diplomové práce je vytvoření hlasovacího zařízení pro řízení a zjednodušení hlasování různých zasedání. Vyhodnocení průběhu hlasování provede nadřazený systém v podobě osobního počítače s možností velkoplošného promítání výsledku hlasování (dataprojektor). Požadavek na tvorbu hlasovacího zařízení byl podán firmou ELVAC a.s., jenž sestavila seznam kritérií pro vytvoření zařízení. Další vývoj byl řízen firmou na základě konzultací a internetové komunikace.

V první části diplomové práce je provedena analýza dostupných hlasovacích zařízení na trhu. Jsou vybrána tři konkurenční zařízení a tyto jsou v závěru kapitoly srovnávány. Na závěr bylo zvoleno nejzajímavější z nich.

Dále pak je provedena funkční analýza celého systému a jednotlivých podsystémů. Jsou zde rozebrány komunikační systémy budoucího zařízení a dále teoreticky rozebrány potřebné okruhy pro zpracování dané tematiky.

Vývoj zařízení začíná tvorbou koncepce formou blokového schématu. U jednotlivých bloků schématu jsou zmíněny možnosti jejich realizace s následným výběrem nejlepšího možného řešení dle dříve stanovených kritérií. Na základě provedeného konceptu je pak proveden návrh schématu a desky plošného spoje výsledného hlasovacího zařízení. Dále je v této kapitole také navržen firmware pro mikrokontrolér řídící funkci celého zařízení.

Po úspěšné výrobě zařízení jej bylo nutno také otestovat. Tomuto provozu byla věnována celá kapitola týkající se programování testovací klientské aplikace pro možnost zkušebního provozu. Dále pak testování dosahu systému, měření spotřeby a spuštění testovacího provozu zařízení.

2 Rozbor komerčně dostupných řešení hlasovacích zařízení.

V této kapitole je rozebráno více různých druhů konkurenčních hlasovacích zařízení. Cílem zde je nastínit více různých možností jak zadávání voleb, tak také komunikace s nadřazeným systémem. Zjistit jak jsou vyrobena konkurenční řešení (co do způsobu rozmístění ovládacích prvků, tak i funkčnosti) a také jejich cenové relace.

2.1 Bitart s.r.o. - Bezdrátový hlasovací systém

Zařízení firmy Bitart s.r.o. bylo navrženo pro řízení jednání obecního zastupitelstva a plně pokrývá potřebné oblasti řízení jednání. V podobném duchu by měl být navrhnout také zadaný systém pro firmu Elvac a.s. Ovšem s rozdílem počtu možných voleb.

Hlasovací zařízení firmy Bitart s.r.o. je bezdrátový systém pro hlasování. V porovnání s konkurencí vyniká svými malými rozměry, jež jsou dokonce menší než u infračerveného dálkového ovládání domácích spotřebičů. Z pohledu uživatele je zařízení (jeho ovládání) hodně jednoduché. Díky použití tří ovládacích tlačítek je možné funkci vysvětlit v několika větách. Během jednání jsou na vhodném velkém monitoru (např. dataprojektor) zobrazeny údaje o stavu jednání a jména všech členů dané instituce. Podbarvení jmen různými barvami umožňuje zastupitelům intuitivně kontrolovat reakci systému na stisk tlačítka hlasovací jednotky. [10]

Proč používat hlasovací zařízení

- Zrychlení průběhu jednání
- Nezpochybnitelnost výsledku hlasování
- Průběžná evidence počtu přítomných
- Zjednodušení řízení diskuze, systém eviduje pořadí přihlášení, omezení na počet a délku diskusních příspěvků
- Okamžité rozhodnutí o výsledku hlasování, grafické i zvukové zobrazení výsledku
- Evidence průběhu celého jednání včetně hlasování každého zastupitele
- Možnost následného zpracování uložených dat, statistiky, zápis z jednání
- Jednání je možno vést kdekoli
- Malá závislost na napájení 220V [10]



Obr 2.1: Vzhled hlasovacího zařízení firmy Bitart s.r.o

2.2 Bezdrátová hlasovací jednotka WiVo Element a WiVo Compact

Bezdrátový systém WiVo je dle mého názoru jeden z nejpovedenějších systémů na trhu a vyvíjenému zařízení bude jistě konkurencí. Svými rozměry odpovídá velikostí dnešních mobilních telefonů. Jak je z obrázku níže patrné je možné jej ovládat pomocí šesti tlačítek. Vizualizace stavu zařízení je provedena pomocí LED diod. Energii zařízení dodává sada vyměnitelných Li-ion akumulátorových článků na jejichž plné nabití dokáže zařízení setrvat až 130 hodin v pohotovostním režimu. Zařízení je také schopno uživateli po 4 hodiny signalizovat vybití baterií. Dále zařízení obsahuje port pro autentizaci pomocí čipové karty a port pro nabíjení. S nadřazeným systémem komunikuje bezdrátově na frekvenci 2,4 GHz (v tzv. bezlicenčním pásmu).



Obr.2.2: Vzhled hlasovací jednotky WiVo

Bezpečnost - osobní držení přiděleného bezdrátového ovladače WiVo se jménem zastupitele (každý ovladač má čip s jedinečnou identifikací) zaručuje dostatečnou ochranu a zamezuje ztrátám identifikačních karet, případně druhý stupeň identifikace pomocí externího identifikačního čipu. Přenos dat radiovým signálem je zabezpečen speciálním kódovaným protokolem. Zařízení pracuje bez problémů v extrémním prostředí při pořádání konferencí spolu s řadou jiných bezdrátových zařízení [11]

Oproti konkurenci má zařízení také zabudovaný mikrofon, jímž je možné zapojit se hlasujícím do diskuze, z místa kde právě sedí, jednoduchým stisknutím tlačítka. Jednotka WiVo obsahuje dále RFID čip. S jeho pomocí je možné kontrolovat při vstupu do objektu počet hlasovacích zařízení v místnosti.

2.3 SMART TECHNOLOGIES Hlasovací systém Turning Point

Hlasovací zařízení Turning Point jsou další alternativou k předešlým dvěma rozebíraným systémům. Velikostí odpovídají asi kreditní kartě s tím rozdílem, že jsou o něco tlustší. Dle výrobce by měly být docela odolné a měly by vydržet i případný pád. Přenos dat ze zařízení je

možný pomocí rádiového signálu nebo infračerveného záření. Opravdová síla tohoto systému je v kompatibilitě, co se programového vybavení týče. Díky možnosti součinnosti s programem Microsoft PowerPoint je možné vzdálené ovládání prezentací s přímým zobrazením výsledků hlasování. Obslužný systém Turning Point je v češtině a umožňuje mimo jiné převedení výsledků hlasování do programu Excel, Word a tak i jednoduchou tvorbu zpráv a zápisů z hlasování.

Nadstandardní programová podpora spočívá také v možnosti ovládání virtuální klávesnice (např. promítané projektorem), která je standardní součástí Windows. Rovněž je možné ovládat pomocí tohoto hlasovacího zařízení také interaktivní tabule SMART Board. Z těchto důvodů je zařízení přiřaditelné spíše do školního prostředí než k hlasování zastupitelstev.



Obr.2.3: Vzhled hlasovací jednotky Turning Point

Z obrázku je patrné, že výrobek vypadá spíše jako dálkové ovládání než hlasovací zařízení. Má dvanáct tlačítek, z nichž devět slouží pro výběr možností a další tři zajišťují funkce systému (Přihlášení, nápověda apod.). Díky většímu počtu tlačítek však ztrácí jednoduchost a možnost intuitivního ovládání.

2.4 Výsledek provedeného rozboru

Při procházení trhu s hlasovacími zařízeními zde bylo nepřeberné množství různých provedení těchto výrobků. Z výsledné množiny byli vybráni tři zástupci. U všech třech je společným znakem komunikace s nadřazeným systémem pomocí bluetooth. Dále je vždy zvoleno ovládání pomocí tlačítek a signalizace stavu pomocí LED diod. Zařízení používají napájení pomocí baterií.

Z řady zmíněných zařízení vybočuje svými funkcemi bezdrátová hlasovací jednotka WIVO element, jež nabízí také možnost přihlášení se do diskuze a následně se ujmout slova. Popsanou funkci je zařízení schopno vykonat díky zabudovanému mikrofonu. Tento provedený výrobek byl také doplněn o podporu zjišťování ostatních jednotek v místnosti pomocí RFID technologie.

2.4.1 Srovnání cen jednotlivých produktů

Z toho důvodu, že každá z firem má jinak vyřešen způsob distribuce a účtování položek, bude cena přepočtena na jednoho člena zasedání. Náklady na hlasování jednoho člena jsou u pořízení systému Bitart s.r.o 3180 Kč. U systému Turning Point vychází cena přepočtená na jednotku na 1312,5 Kč. A u systému WiVo vycházejí náklady na roční zapůjčení jednotky na přibližně 1571,5 Kč. Nelze jednoznačně asi říci, který systém je nejlepší. Výběr bude záležet na typu aplikace. Zda se jedná o systém pro školu, zastupitelstvo nebo vládní zasedání.

Hlasovací systém firmy Bitart s.r.o.

Typ objednávky	Předmět	Počet	Cena (bez DPH)
Kompletní systém	Komunikační jednotka	1	8460 Kč
	Programové vybavení	1	11700 Kč
	Hlasovací jednotka	16	30720 Kč
Celkem			50880 Kč

Tab1: Ceník firmy Bitart s.r.o

Systém WiVO firmy Allstar Group s.r.o.

Firma Allstar Group s.r.o. řeší distribuci svého produktu systémem zápůjček. Hlasovací systém pro 21 členů včetně software stojí 33000 Kč (jedná se o zapůjčení na aktuální rok). V následujících třech letech se pak za systém platí za každý rok dalších 33000 Kč.

Systém Turning Point

Typ objednávky	Předmět	Počet	Cena (bez DPH)
Celkem	Kompletní systém (software+jednotky)	16 jednotek	21000 Kč

Tab2: Ceník firmy Smart technologies

3 Funkční analýza vyvíjeného systému.

V této kapitole jsou položeny požadavky na vyvíjený systém. Budoucí zařízení je zde probráno jak z hlediska ergonomie a mechanického provedení, tak i z hlediska zapojení a technického provedení a případné konektivity. Dále je zde probrána nutná teorie a komunikační možnosti vyvíjeného zařízení.

3.1 Požadavky na vyvíjený systém položené firmou ELVAC a.s.

Je zapotřebí vyvinout funkční prototyp zařízení pro hlasování/volbu ze 4 variant a přihlašování. Výsledné zařízení musí být možno začlenit do sítě stejných modulů, ať již pomocí komunikace po kabelu (sériová linka nebo USB) tak bezdrátově (Bluetooth).

Předmětem práce je výběr vhodného mikrokontroléru a periferních obvodů, následný návrh zapojení a plošného spoje, výroba prototypu, jeho naprogramování a odzkoušení. Práce nemusí řešit mechanické provedení výsledného zařízení (krabička, tlačítka), ani vyšší uživatelský software na PC (postačí pouze demonstrační klient zobrazující čas stisku jednotlivých tlačítek).

Zařízení bude vybaveno vstupy pro 4 tlačítka volby a 1 tlačítko přihlášení (případně mikrospínače osazené přímo na desce), výstupy pro indikaci provedené volby (4x LED) a variabilním komunikačním rozhraním (sériová linka s možností konverze RS-485 či USB / Bluetooth) při využití čipů emulujících sériový port pro PC (volba rozhraní odlišným osazením plošného spoje). Napájení bude realizováno variantně z 12-24V DC / USB / vestavěných baterií 4xAA (volba napájení odlišným osazením plošného spoje). Pro možnost připojení další periferie (např. čtečky karet) musí být zařízení vybaveno dalším sériovým portem.

Firmware zařízení musí být implementovat vnitřní časovač (běžící pouze po dobu zapnutí přístroje), který bude synchronizován z PC. Každé zařízení zapojené v síti (na lince RS-485) musí být adresovatelné, ve zprávách ze zařízení musí být tato adresa obsažena. Ke každému stisku tlačítka (či jiné události) musí být přiřazena časová značka a tato událost zanesena do bufferu (typ vyrovnávací paměti), odkud může být smazána až po úspěšném přenosu do PC.

Pro realizaci návrhu schématu a plošného spoje upřednostňuje firma ELVAC a.s. použití systému EAGLE, z nějž budou následně generována data pro výrobu DPS. Při vývoji firmware bylo firmou ELVAC a.s. doporučeno vycházet z projektu Arduino (www.arduino.cz), pro který jsou zdarma k dispozici vývojové nástroje a knihovny, přičemž je možno také zakoupit celou řadu hotových a rozšiřujících modulů pro tuto platformu. Tato volba také znamená orientaci na konkrétní řadu mikrokontrolerů podporovaných v rámci projektu.

3.2 Individuálně zvolená kritéria

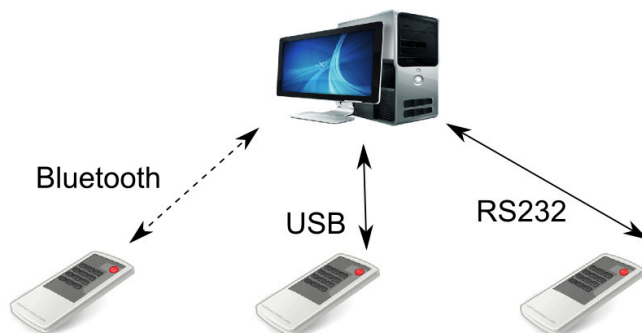
Při volbě nejvhodnějšího řešení bude v následujících kapitolách rozhodováno dle následujících kritérií:

- Přijatelná cena použitých součástí
- Modulárnost vyrobeného systému

- Schopnost systému reagovat na vstupní signály dostatečně rychlou změnou výstupních hodnot
- Možnost hromadné výroby
- Práce se známými řídicími komponentami
- Vývoj programu ve známém prostředí a jazyce
- Dostatečná životnost daného řešení
- Kvalita zpracování
- Spolehlivost vyrobeného systému

3.3 Funkční analýza

Jak bylo zadáno v požadavcích firmy, vytvořené zařízení musí být možné zařadit do sítě stejných modulů pomocí několika standardních komunikačních linek (jak drátových, tak i bezdrátových). Primární funkce zařízení je volba ze čtyř možností a odeslání volby nadřazenému systému. Ten je schopen odeslané volby ze všech zařízení vyhodnotit a zobrazit výsledek hlasování.



Obr 3.1: Hlasovací systém

Vybírat si z možných voleb uživatel může pomocí tlačítek. Výběr je vhodně indikován pomocí LED diod. Stvrzení volby pak je proveden potvrzovacím tlačítkem. Napájet zařízení by mělo být také možné různými způsoby.

Napájení:

- Externí napájení
- Baterie
- USB

Funkce:

- 4 možnosti volby
- 1 potvrzení volby
- odesílání a příjem dat

Komunikace:

- USB
- RS232
- Bluetooth

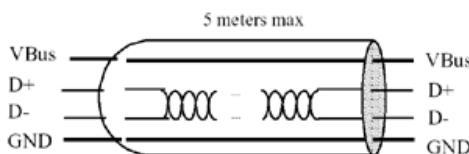
Z hlediska ergonomie zařízení je asi uživatelsky nejpříznivější zarovnání tlačítek do řady na pravé straně řešení. Na levé straně pak mohou být k těmto tlačítkům umístěny různé popisky. V podstatě by rozmístění ovládacích prvků mohlo být stejné jako u hlasovací jednotky WiVo (obr 2.2).

3.4 Popis komunikačních standardů navrhovaného zařízení

V této podkapitole jsou popsány a teoreticky rozebrány jednotlivé komunikační standardy vypsány ve funkční analýze.

3.4.1 USB

Komunikační sběrnice typu USB se poslední dobou stala velice rozšířenou součástí dnešní elektroniky a v podstatě nahradila sériový port RS-232. Například notebooky s klasickým sériovým portem se již nevyrábí. Tento vývoj má několik důvodů a to jak menší rozměry USB konektorů, méně potřebných vodičů, tak i mnohem vyšší přenosové rychlosti. Další výhodou USB je technologie plug & play (přidání i odebrání zařízení za běhu systému). Za mírnou nevýhodu se dá pokládat poměrně složitá softwarová implementace. Zmíněnou nevýhodu se snaží například firma Atmel řešit knihovnamí a integrací prostředků pro komunikaci pomocí USB přímo do mikrokontroléru.

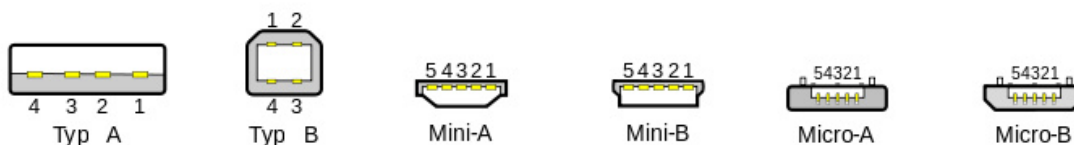


Pin	Jméno	Barva	Popis
1	VBus	Red	+5 VDC
2	D-	White	Data -
3	D+	Green	Data +
4	GND	Black	Ground

Obr 3.2: Zapojení sběrnice USB [13]

Elektrické parametry:

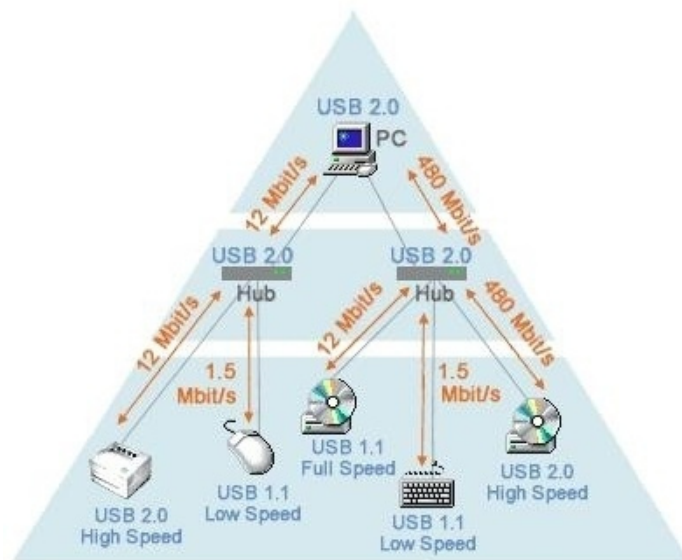
Dvojice datových vodičů (DATA+ a DATA-) je kroucená, vodiče VCC (+5 V) a GND nikoli. Celý kabel je potom stíněný hliníkovou fólií. Na obou koncích bývá zakončen konektorem. Přehled používaných konektorů je na obrázku níže. Z obrázku je patrné, že se používají jak různé velikosti tak i tvary konektorů.



Obr 3.3: Různá provedené USB konektorů

3.4.2 Architektura USB

Zařízení vybavené rozhraním USB je buď rozdělovač (hub – centrální jednotka hvězdicovité struktury), nebo funkční jednotka (periferní zařízení – např. myš, klávesnice, scanner, tiskárna, MP3 přehrávač, digitální audio-vstup)[13]. Propojení je řešeno pomocí víceúrovňové hvězdicové struktury. Jak je patrné z obrázku č. 3.3.



Obr 3.4: Architektura zapojení sítě zařízení pomocí USB

Pro dosažení hvězdicové struktury a připojení zařízení se používají HUBy (rozbočovače). Jsou to segmenty sítě umožňující propojení zařízení na nižších úrovních s celky na vyšších úrovních. Kaskádním propojením rozdělovačů je možné k počítači připojit velký počet funkčních celků. Z tohoto důvodu je USB rozhraní použitelné pro vytvoření sítě hlasovacích zařízení. Jediná nevýhoda je v nutnosti připojení přes HUB rozdělovače.

Každé USB zařízení má svoji USB adresu a podporuje jednu nebo několik koncových jednotek (end-points / nodes), se kterými může počítač komunikovat. [13]

Přenos dat

USB sběrnice je tzv. „one-master“ sběrnice, to znamená, že jen jedno zařízení řídí veškerou komunikaci na síti. Přenos dat po sběrnici je prováděn pomocí odesílání rámcových zpráv. Doba trvání rámce je stanovena na 1 ms. Vysílaná data mohou mít podobu 8mi nebo 256 bajtových paketů. Při jednom komunikačním cyklu se pak na sběrnici mohou vyskytovat oba typy paketů. Mohou se zde také odesílat data pro více koncových zařízení současně. Jak je patrné, struktura přenosu není nijak pevně definovaná. O synchronizaci s datovým rámcem, vyslaným Master zařízením, se musí koncové zařízení již postarat samo.

Existují dva základní typy přenosu po sběrnici:

Datový tok (stream) - využívající izochronní přenos dat v reálném čase. Nemá přesně definovanou strukturu. [13]

Zpráva (message) využívající asynchronní přenos. Má přesnou strukturu:

- Řídící zpráva určená pro konfigurování poprvé aktivovaného zařízení
- Zpráva obsahující větší objem dat (např. pro tiskárnu nebo plotter), jež je většinou segmentována do více částí;
- Zpráva s přerušením (obvykle několik bajtů), kterou spontánně vysílá zařízení, aby předalo zprávu o svém stavu (např. změna polohy myši). [13]

Data odesílaná po sběrnici jsou zakódovány pomocí systému NRZI – (Non Return to Zero tzn. „bez návratu k nule“). Výsledný signál se pohybuje mezi kladnou a zápornou hodnotou napětí. Nikdy se neocítá v nulové hodnotě (kvůli své funkci dostala logicky i své jméno). Systém pracuje tak, že každou log. 0 kóduje jako změnu polarit napětí. Pokud systém odesílá log. 1 nedochází na výstupní lince k žádným změnám. Kódování na straně vysílače, a dekodování na straně příjmu, není řešeno pomocí programu, ale pomocí speciálně navrženého hardware. Dalším z principů používaných při přenosech dat po USB je tzv. bit-stuffing, což v překladu znamená vkládání nebo vsouvání bitů. Vsouvání bitů do proudu dat se používá, aby se dalo zjistit, zda vysílané data byly doručeny na odesílané zařízení.

3.4.3 V-USB

AVR-USB je čistě firmwarová implementace USB rozhraní verze 1.1 (low-speed) určená pro mikrokontroléry AVR od firmy Atmel. Software je kompatibilní s jakýmkoliv AVR procesorem který má alespoň 2 kB Flash paměti, 128B RAM a zvládá takt min. 12 MHz. Žádný UART, časovač, Capture/Compare jednotka nebo jiný speciální hardware není třeba (pouze jeden zdroj přerušení). AVR-USB je volně šířen pod licencí GNU GPL, alternativně pod komerční licencí.[9]

USB rozhraní je mnohem více komplexní než sériová linka. Také je v dnešní době mnohem více rozšířené a podporuje jej čím dále tím více zařízení. Má také mnohem vyšší datovou propustnost než sériová linka. V-USB podporuje protokol typu USB 1.1 u řady mikrokontrolerů XMEGA není zapotřebí žádných externích komponent. (v této diplomové práci bylo použito několika rezistorů a zenerových diod jen jako ochrana proti přepětí).

3.4.4 Bezdrátová komunikace

Jak bylo v zadání a požadavcích firmy ELVAC a.s. uvedeno (viz. dále), je zapotřebí aby byl vyvinutý systém schopen komunikovat s nadřazeným systémem bezdrátově (doporučeno bylo Bluetooth). V rámci diplomové práce je zvážena také poměrně nová bezdrátová komunikační technologie označovaná názvem ZigBee.

3.4.4.1 ZigBee

Poměrně nová standardizovaná komunikační technologie zařazená do normy IEEE 802.15.4. Primárně je určena pro komunikaci na malé vzdálenosti (asi do 75m). Vysílače jsou konstruovány jako nízko-výkonové. Popsaná technologie byla vytvořena kvůli nevhodnosti použití bluetooth v průmyslových aplikacích. Pracuje v bezlicenčních pásmech (868 MHz, 902-928 MHz, 2,4 GHz) s přenosovou rychlostí 20-250 kbit/s.

Pro zadanou aplikaci by se dal využít např. modul MRF24J40MB vyrobený firmou Microchip.

3.4.4.2 Bluetooth

Bluetooth technologie je bezdrátový komunikační standard, jenž se snad jako první objevil u mobilních telefonů. Byl vyvinut firmou Ericsson jako bezdrátový ekvivalent sériové linky RS232. Pracuje na frekvenci 2,4Ghz (podobně jako WIFI). Toto komunikační pásmo je označováno jako ISM (průmyslové, vědecké a zdravotnické pásmo).

Technologie Bluetooth je definovaná standardem IEEE 802.15.1. Spadá do kategorie osobních počítačových sítí, tzv. PAN (Personal Area Network). Vyskytuje se v několika verzích, z nichž v současnosti nejvíce využívána je verze 2.0 a je implementována ve většině aktuálně prodávaných zařízení, jako jsou např. mobilní telefony, notebooky, ale i televize. V současné době je nově vyvinuto rozhraní Bluetooth 4.0, u kterého výrobci slibují větší dosah (až 100 metrů), menší spotřebu elektrické energie a také podporu šifrování AES-128. [11]

Třída	Maximální povolený výkon		Dosah (Přibližný)
	mW	dBm	
Třída 1	100	20	100 m
Třída 2	2,5	4	10 m
Třída 3	1	0	1 m

Tab4: Rozdělení zařízení do tříd dle výstupního výkonu a dosahu [11]

Jak je patrné z obrázku uvedeného výše, každé vyrobené zařízení komunikující po rozhraní bluetooth je možné zařadit do kategorie odpovídající jeho vysílacímu výkonu. Při návrhu zařízení je však třeba mít na paměti fakt, že vyšší vysílací výkon znamená také zvýšení odběru zařízení a tak i zvýšení nároků na napájení.

Přenosová rychlost bluetooth rozhraní závisí na verzi standardu. Existují 4 základní verze rozhraní 1.2, 2.0, 3.0 a 4.0 a rychlost přenosu se u nich pohybuje v rozmezí 1 Mbit/s (pro verzi 1.2) až 24 Mbit/s (pro verzi 4.0).

Bezpečnost bluetooth přenosu je zajištěna pomocí zadávání pinů při párování přístrojů. Při přenosu dat z jednoho do druhého zařízení je pak využíváno šifrování pomocí klíče.

3.4.5 Nabíjecí obvody Li-ion akumulátorů pro rozhraní USB

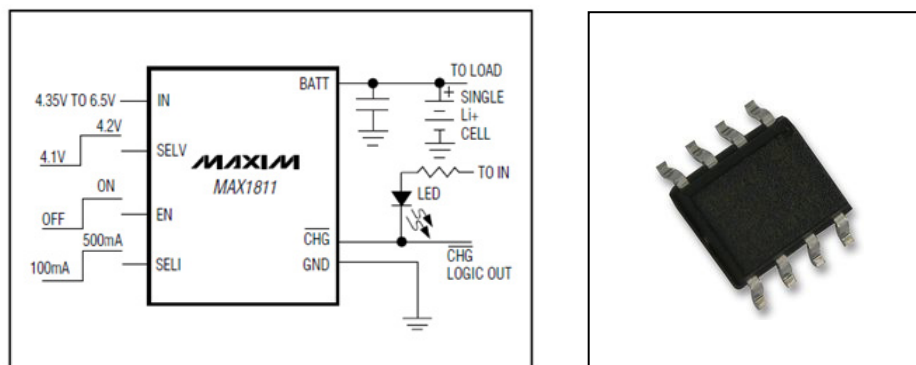
Nabíjecí obvody byly zařazeny do kapitoly funkční analýzy, z toho důvodu, že vyráběné zařízení bude možné napájet pomocí zabudovaného akumulátoru. Pro nabíjení takového akumulátoru je možné vytvořit nabíjecí obvod, což vede ke zvýšení složitosti celého návrhu. Další možností pak je koupit již hotový integrovaný obvod, jenž se o řízení nabíjení dokáže obstojně postarat. Menší nevýhodou takového řešení však může být vyšší pořizovací cena samotného čipu.

3.4.5.1 MAX1811

Nabíjecí obvod MAX1811 je už možné koupit v obchodech nějakou dobu. Možná jeho cena zapříčiňuje to, že mezi spotřebiteli není tak oblíbený. Jedná se totiž o docela užitečný integrovaný obvod s uplatněním všude kde jsou používány zabudované Li-Ion akumulátory a více možností jak celý systém napájet. Napájení může být provedeno z externího zdroje napětím o velikosti 6,5V nebo přímým napojením systému na USB sběrnici.

Pokud by se uživateli výsledného produktu povedlo zapojit obě napájecí linky najednou, zařízení si vybere pouze jednu a druhá využita nebude. Hlavní výhoda použití obvodu MAX1811 je v tom, že ke své funkci nepotřebuje až na blokovací kondenzátory na výstupu žádné externí komponenty.

Má také zabudovány komponenty pro řízení nabíjení. Obvod dovoluje napájet akumulátor proudem o velikosti až 500 mA, což by mělo stačit pro většinu nízko-příkonových zařízení. Nabíjecí napětí je pak, pro zvýšení univerzálnosti, také nastavitelné.

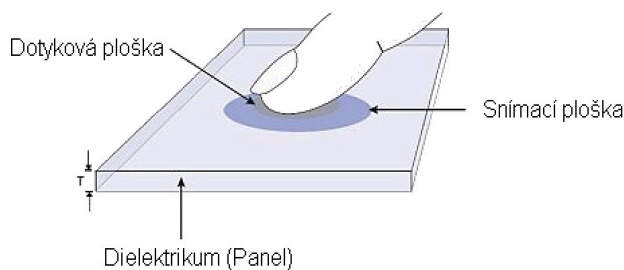


Obr 3.5: Typické zapojení obvodu MAX1811

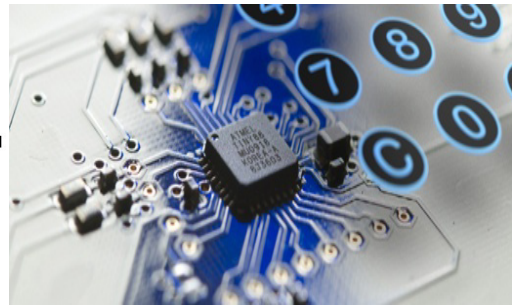
Kondenzátor paralelně připojený k baterii by měl být umístěn v blízkosti použitého akumulátoru. Měl by mít kapacitu o hodnotě alespoň 2,2 μF . Cena obvodu se pohybuje okolo 130 Kč.

3.4.6 QTOUCH technologie

QTOUCH je název systému jednoduché tvorby a aplikace dotykových kapacitních tlačítek. Problematikou se zabývá již celá řada výrobců a firma Atmel nazvala a patentovala svůj systém jako QTOUCH. Základní princip jeho funkce je založen na změně kapacity po přiblížení jakéhokoliv vodivého předmětu (nejčastěji lidského prstu) k snímací elektrodě. Technologie QTOUCH je velice odolná proti rušení a přenosu náboje ze snímací elektrody do čipu.



Obr. 3.6 a) Uzpůsobení QTOUCH tlačítka



Obr. 3.6 b) Vzhled QTOUCH panelu

Situace je velice dobře zobrazena na obrázcích výše. Systém spočívá ve vytvoření elektrody překryté dielektrickou vrstvou. Přiblížení prstu nad snímací elektrodu je v podstatě vytvořen kondenzátor s proměnnou kapacitou. Tento jev lze změřit a vyhodnotit velikost kapacity na snímací elektrodě a tak lze detekovat „stisknutí“ dotykového tlačítka.

Hlavní výhodou, použití tohoto typu tlačítka, je velice jednoduchá výroba. Průhlednou elektrodu lze velice snadno napařit na průhledný materiál (stejně jako při výrobě LCD displejů). Dá se také natisknout například na plakát (tvorba interaktivních plakátů). Další výhodou je vysoká mechanická odolnost takto provedených tlačítek (odolávají lépe vlivům prostředí než obvykle vyrobená mechanická tlačítka).

Technologií QTOUCH však nemusí být vyráběna pouze tlačítka. Je možné vyrábět posuvníky nebo zakulacené prvky pro přidávání intenzity (ekvivalent potenciometru). Snímací elektrody lze vyrábět v různých tvarech a velikostech což je další výhoda.

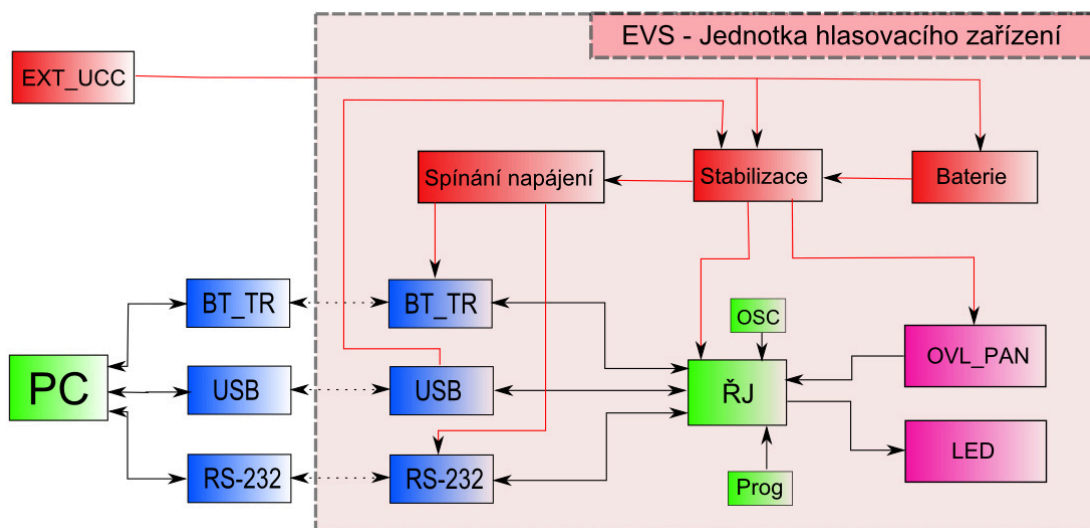
Další výhodou je také kapacitní systém snímání, jenž je oproti rezistivní metodě pro obsluhu mnohem jednodušší. Tím že není potřeba na tlačítko vyvíjet tlak je stisk vhodný i pro slabší prsty (např. dětí) a také dovoluje mnohem rychlejší stisk. Klávesnice vyrobená tímto způsobem má mnohem rychlejší odezvu a dokáže konkurovat mechanicky vyrobeným klávesnicím.

4 Návrh koncepce hlasovacího zařízení, návrh HW a SW řešení.

Tato kapitola se zabývá popisem možných řešení návrhu realizace vnitřního zapojení hlasovacího zařízení na bázi mikrokontroléru. Je v ní vytvořen základní koncept a stanoveno více možností řešení. Na základě požadavků stanovených v minulé kapitole je proveden výběr nejvhodnějšího řešení. Použité řešení je opět zpracováno do přehledného blokového schématu a na základě něj je proveden návrh hardware zařízení v příští kapitole.

4.1 Návrh konceptu zařízení

Níže zobrazený koncept byl sestaven na základě požadavků položených v kapitole 3. Funkční analýza.



Obr.4.1: Obecné blokové schéma konceptu

Legenda:

PC	–	Nadřízený systém
BT_TR	–	Bluetooth modul
RS-232	–	Sériový port
USB	–	Standardní rozhraní typu USB
ŘJ	–	Řídicí jednotka
EXT_UCC	–	Externí napájení
OVL_PAN	–	Ovládací panel
Prog	–	Programovací rozhraní
OSC	–	Oscilátor

	– Prvky napájecí soustavy
	– Komunikační moduly
	– Výpočetní prostředky a periferie
➔	– Signál napájení o napětí 5V
➔	– Ostatní signály

4.1.1 Popis konceptu

Blokové schéma je barevně rozděleno do čtyř částí. Modrou barvou jsou znázorněny komunikační prvky, zeleně jsou naznačeny výpočetní prvky, červeně pak prvky napájecí soustavy a fialovou jsou znázorněny prvky pro interakci s uživatelem. Pro zvýšení přehlednosti zde byla snaha seskupit prvky stejných barev (a tak i stejného významu) čím jak nejbližše jeden druhému do úhledných skupin.

Na začátku je napájecí soustava zařízení, jejíž bloky byly podbarveny červeně. Zařízení je možné napájet hned třema způsoby a to pomocí USB, baterie nebo pomocí externího zdroje. Pokud je v zařízení integrována baterie, je pro její nabíjení použit konektor pro externí zdroj a počítá se s připojením nabíječky vhodně pro daný typ zabudovaného akumulátoru. Do bloku EXT_UCC tedy může být připojen externí zdroj napájení nebo nabíječka baterie. Tento blok napájí baterii, z níž jde energie do bloku „Výběr linky“. Tento blok dle priority a dle připojeného zdroje volí mezi napětím z USB sběrnice a z externího zdroje nebo baterie. Výsledné napětí pak připojuje na blok stabilizátoru, jenž napětí stabilizuje na hodnotu 3,3V. Napětí o hodnotě 3,3V je poté použito pro napájení všech ostatních obvodů a bloků. Do skupiny napájení byl také přidán blok „Spínání napájení“, který napájí komunikační bloky bluetooth a RS232, u nichž se počítá se zvýšenou spotřebou. Z důvodů úspory spotřebované energie (při napájení z baterií) bude možné nepoužívané komunikační rozhraní odpojit od napájení a tak šetřit s energií.

Na blokovém schématu byly dále vyznačeny modrou barvou tři možné způsoby komunikace s nadřazeným systémem. Přičemž blok USB dokáže napájet zařízení a také umožnit komunikaci. Bloky komunikace budou s největší pravděpodobností realizovány převodníky nebo hotovými moduly (v případě bluetooth rozhraní). Blok mikrokontroléru pak bude muset mít možnost komunikace s těmito bloky, takže bude muset obsahovat minimálně tři komunikační rozhraní podporované právě zvolenými moduly a převodníky (obecně alespoň větší množství rozhraní typu UART).

Mikrokontrolér také bude používat interní nebo externí krystalový oscilátor, jenž definuje jeho takt. A dále programovací rozhraní pro nahrání řídicího programu (firmware).

Zbylé dva bloky zvýrazněné fialovou barvou jsou bloky pro interakci s uživatelem. První z nich označený jako OVL_PAN (ovládací panel) je nutno uzpůsobit tak, aby měl uživatel možnost vybrat si z několika voleb tu, pro kterou se rozhodl hlasovat a dále vybranou volbu potvrdit a odeslat takto svůj hlas k vyhodnocení. Indikace stavu zařízení a vybrané volby bude poté provedena pomocí bloku LED, kde se, jak již název bloku napovídá, počítá s využitím LED diod.

Žádná z kombinací zamýšlených variant jednotlivých bloků nemůže splňovat přesně všechny kritéria. Výběr nejvhodnějšího řešení však byl proveden tak, aby bylo splněno co nejvíce požadavků s nejvyšší prioritou (cena, spolehlivost, odolnost, rychlost).

4.2 Výčet možných řešení

Blok - Napájení:

Tento blok napájí téměř všechny použité bloky. Musí tedy být vhodně navržený tak, aby jím bylo možné napájet všechny potřebné bloky obvodu. Dále by tento blok měl být schopen zajistit alespoň základní jištění před přetížením a zkraty.

Napájení s interním nabíjecím obvodem – Pod tímto názvem se rozumí systém napájení se zabudovaným obvodem starajícím se o nabíjení interního akumulátoru. Výhodou řešení se zabudovaným interním nabíjecím obvodem je jeho přenositelnost. Není nutné mít sebou na

zasedání externí nabíječku uzpůsobenou pro daný typ zabudovaného akumulátoru. Nabíjet je pak možné jak připojením systému na externí zdroj napájení (o různých napětích) tak i připojením zařízení do USB portu osobního počítače. Nevýhodou je zde pak zvýšení nákladů na výrobu zařízení a tak i zvýšení prodejní ceny.

Napájení s externím nabíjecím obvodem [POUŽITO] – U tohoto řešení by bylo využito externí nabíječky k nabíjení zabudovaného akumulátoru. Odpadl by tak problém s použitím vnitřních nabíjecích obvodů, které výsledné řešení prodražují.

Blok - Řídící jednotka

Mikrokontrolér [POUŽITO]: Použití mikrokontrolérů má jistě několik nesporných výhod. Jsou poměrně rychlé, je možné je snadno naprogramovat a také jsou v porovnání s ostatními variantami nejlevnější. Jejich nevýhodou však je nutnost vytvořit desku plošných spojů a pro nahrání programu do jejich paměti si je třeba pořídit programátor (komponenta zprostředkovávající přenos dat mezi mikrokontrolérem a počítačem pomocí vybraného rozhraní jako je BDM, PDI, SPI nebo JTAG). Vzhledem k pořizovacím cenám Arduino desek bude vývoj nového prototypu na základě mikrokontroléru lepším řešením.

Arduino: Arduino je open-source platforma založená na mikrokontroleru ATmega od firmy Atmel a grafickém vývojovém prostředí, které vychází z prostředí Wiring (podobný projekt jako Arduino, tedy deska s mikrokontrolérem a IDE) a Processing (prostředí pro výuku programování) [20]. Arduino může být použito k vytváření samostatných interaktivních zapojení nebo může být připojeno k software na počítači (např. Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider). Momentálně lze koupit verze, které jsou už zkompletované; schéma a návrh plošného spoje je dostupný pro ty, kteří si chtějí postavit Arduino sami.

Blok - Komunikace

Bluetooth - Asi nejjednodušším a nejefektivnějším způsobem jak vyřešit komunikaci pomocí bezdrátového standardu bluetooth je použití již hotového modulu. Již naprogramované a funkční moduly se dají sehnat za docela dobrou cenu. Mají také obstojný dosah i přenosovou rychlost. Na aplikaci pak záleží jak výkonný modul vybrat. Pro práci by bylo možné využít asi dvou základních modulů a to od firmy Rayson (**BTM112** [POUŽITO] nebo výkonnější BTM222). Dalším použitelným výrobkem je bluetooth modul firmy CONNECTBLUE s typovým označením OEMSPA-311i. Druhý jmenovaný je o něco dražší, avšak nabízí vyšší vysílací výkon.

USB – Obohacení vyráběného systému o rozhraní typu USB lze provést také minimálně dvěma základními způsoby. Buď je zde možnost koupě integrovaného převodníku USB/UART nebo použití mikrokontroléru firmy ATMEL, jenž má podporu virtuální implementace USB [POUŽITO].

RS232 – Asi nejvhodnějším způsobem jak realizovat komunikaci hlasovacího zařízení s nadřazeným systémem po sériové sběrnici RS232 bude použitím převodníku MAX3223 [POUŽITO] jenž je ekvivalentem MAX232 s tím rozdílem, že může být napájen napětím o

velikosti i 3,3V. Dalším způsobem jak přizpůsobit napěťové úrovně mikrokontroléru a sběrnice RS232 by mohl spočívat v tvorbě obvodu pro přizpůsobení z diskretních součástek. Složitost a finanční náročnost této varianty však velice jasně hovoří pro použití integrovaného převodníku MAX3223.

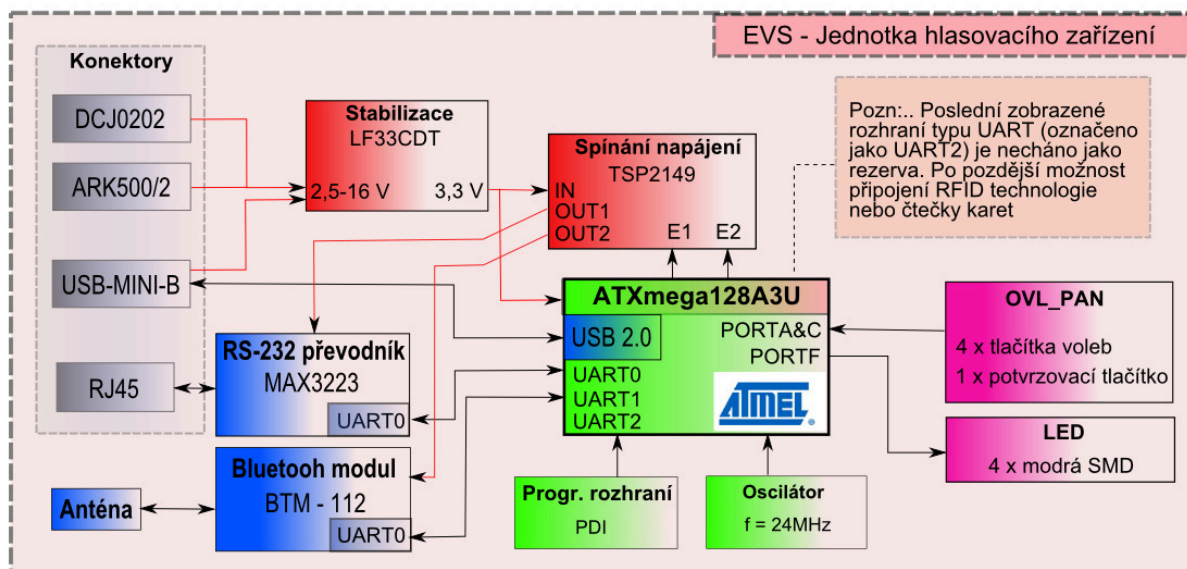
Blok - Ovládacích a indikačních prvků

QTOUCH technologie – pro vytvoření ovládacího panelu by bylo velice efektivní použití QTOUCH technologie, již podporuje nová řada mikrokontrolérů firmy ATMEL s označením XMEGA (viz. Funkční analýza). Hlasovací systém s použitím dotykové technologie by se odlišoval od veškeré konkurence, jež je v současnosti na trhu k dostání. Vyrobený panel by se dal velice efektně podsvítit LED diodami a celé zařízení by vypadalo mnohem moderněji. Vytvoření tlačítek QTOUCH technologií je také poměrně jednoduchá záležitost a jejich použití je díky knihovnám integrovaným v řadě mikrokontroléru XMEGA také snadná.

Tlačítkové spínače [POUŽITO] - Jelikož je systém vyvíjen teprve, jako prototyp pro otestování funkce se budou jistě hodit obyčejná tlačítka. Systém s technologií QTOUCH by se dal doporučit jako budoucí řešení.

4.3 Zvolené řešení

V minulé podkapitole bylo navrženo obecné schéma konceptu, dále zde byly předneseny možné způsoby řešení. U každého bloku bylo jasně zvoleno pouze jedno řešení. Z takto detailně zpracovaného návrhu ve formě konceptu bylo vygenerováno podrobné schéma vybraného řešení, jež se nachází na obrázku č. 4.2.



Obr 4.2: Schéma zvoleného řešení

4.4 Popis zvoleného řešení

Již na první pohled je sestavené blokové schéma více sofistikované. Schéma již znázorňuje předběžné vnitřní zapojení jednoho modulu bez vnějších zařízení a komponent. Byly specifikovány jednotlivé komponenty spolu s vnitřními komunikačními linkami.

Na levé straně jsou umístěny konektory určené ke komunikaci a napájení zařízení. Místo klasického konektoru pro sériovou linku typu CANNON9 byl z důvodu úspory místa na desce plošného spoje použit konektor RJ45.

Stabilizace napájecího napětí je provedena pomocí integrovaného stabilizátoru typu LF33CDT. U napájení je zapotřebí ošetřit situaci, která by mohla zničit zařízení. Tato situace by nastala, kdyby se uživatel snažil najednou připojit systém na USB rozhraní i externí napájecí konektor najednou. Proto zde byly přidány ochranné zenerové diody (viz. Schéma zařízení v přílohách). Pro možnost zavedení „Stand-by“ režimu s úsporou energie zde byl přidán blok polovodičového spínače, který je schopný připojovat a odpojovat napájecí napětí od bluetooth modulu a převodníku RS232.

Komunikace zařízení s okolím je realizována pomocí modře podbarvených bloků. Na první pohled je vidět, že blok pro komunikaci po USB je integrován přímo na čipu mikrokontroléru. Pro komunikaci po RS232 byl vybrán integrovaný převodník MAX3223 (funkce totožná s MAX232, ale používá může být napájen napětím o velikosti 3,3V). Pro blok bluetooth komunikace byl s ohledem na vyvážení spotřeby a vysílacího výkonu vybrán modul BTM-112 vyráběný firmou Rayson. Na výstup modulu je pak připojena anténa. Realizace antény bude v podobě cesty na plošném spoji.

Ovládací panel je realizován pomocí tlačítek připojených přímo na port mikrokontroléru. Tyto tlačítka budou, jak bylo popsáno v kapitole 3.3 Funkční analýza, umístěny ve sloupci. Na levé straně pak zbude na čelním panelu místo na popis jednotlivých tlačítkových spínačů.

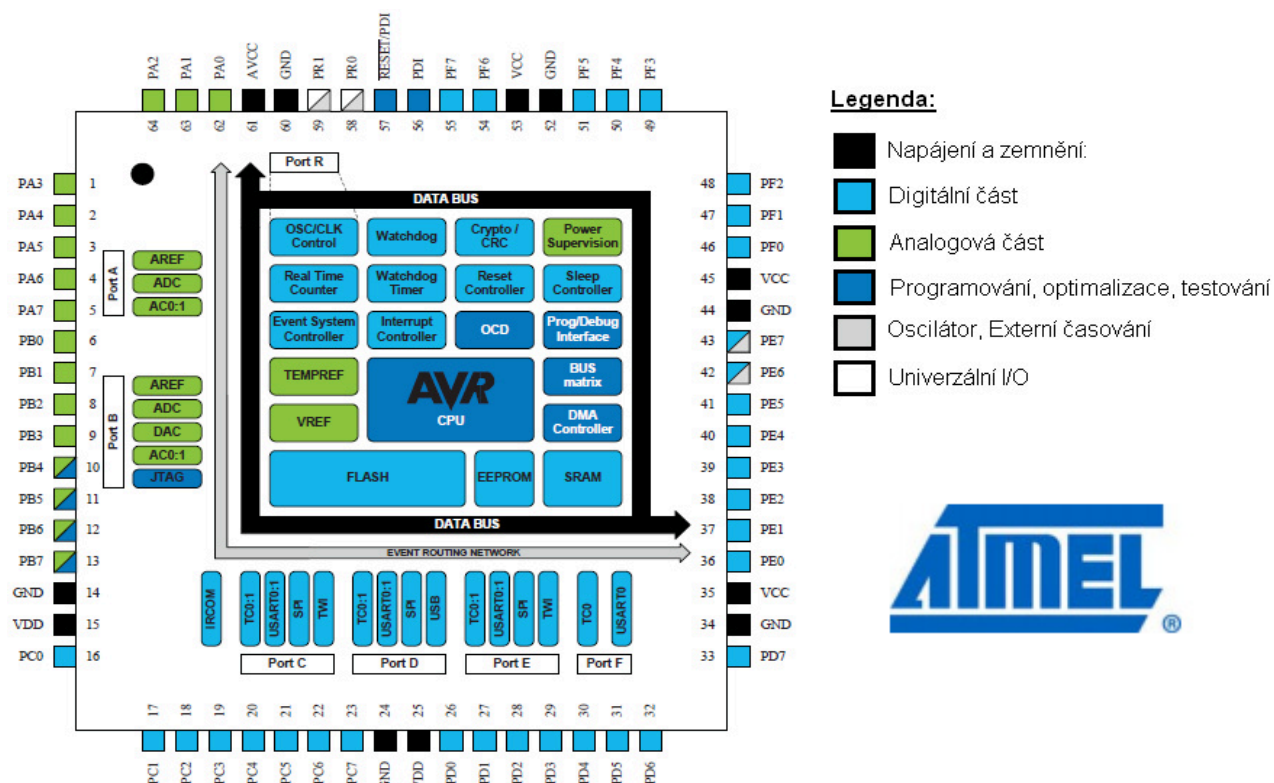
Pro indikaci stavu zařízení bude v blízkosti tlačítek vyroben také soubor LED diod. Při použití vhodné techniky pro výrobu krytu zařízení mohou být jednotlivá tlačítka LED diodami osvětlena, což by vypadalo velice efektně. Zařízení by se tak pro koncové zákazníky mohlo stát zajímavějším.

Pro nahrání a ladění programu bude použito PDI rozhraní. I když má mikrokontrolér několik vnitřních oscilátorů, byl pro jistotu přidán ještě externí krystalový oscilátor taktovaný na frekvenci 24 MHz. Ten v sériově vyráběných výrobcích nakonec nemusí být osazen.

Vybranému mikrokontroléru ATXmega128A3U bude věnována celá následující kapitola.

4.5 Popis vybraného mikrokontroléru ATXmega128

Po zdlouhavém průzkumu trhu s mikrokontroléry padl výběr na mikrokontrolér z rodiny Atmel. Požadavků na zvolený mikrokontrolér bylo totiž hned několik a mikrokontrolér typu ATXMEGA128A3U-AU předčil svoje konkurenty i v dalších parametrech, které ani nebyly zahrnuty do primárních požadavků pro výběr.



Obr 4.3: Vnitřní struktura zvoleného mikrokontroléru ATXMEGA128A3U-AU

Zvolený mikrokontrolér spadá do úplně nové výrobní řady s označením ATXMEGA. Oproti jejich předchůdcům z řady ATMEGA jsou tyto mikrokontroléry obohaceny o naprosto nové technologie a periferie. Jsou rychlejší díky urychlení zpracovávání příkazů (příkazy jejichž vykonání u řady ATMEGA trvalo 2 strojové cykly u řady ATXMEGA trvá pouze jeden cyklus). Tak bylo dosaženo urychlení práce mikrokontroléru s tím, že nebylo zapotřebí závratně zvyšovat takt.

4.5.1 Vlastnosti vybraného mikrokontroléru

Nonvolatilní (napětově nezávislá) paměť programu a paměť dat

- 64K - 256KBytes z In-System Self-Programmable Flash
- 4K - 8KBytes Boot sekce
- 2K - 4KBytes EEPROM
- 4K - 16KBytes Interní SRAM

Periferní Funkce

- Čtyřkanálový DMA Controller
- Osmi-kanálový Systém událostí
- Sedm 16-bitových časovačů / čítačů

Programování a ladění Rozhraní

JTAG (IEEE 1149.1 RoHS) Interface, včetně Boundary Scan
PDI (Program a Debug Interface)

I / O a balíčky

- 50 programovatelných I / O pinů

Rozhraní

- USB 2.0 full speed (12Mbps) a low speed (1.5Mbps) zařízení kompatibilní 32 Endpoints s plně konfigurační flexibilitou
- Sedm USARTs s podporou IrDA pro jednu USART
- Dva Two-wire Rozhraní s duální adresy zápasu (I2C a SMBus kompatibilní)
- Tři sériové periferní rozhraní (SPIS)

Podpora QTOUCH technologie

- Kapacitní dotyková tlačítka, postníky, kolečka

Provozní napětí

- 1,6 - 3,6 V

Provozní frekvence

- 0 - 12MHz od 1.6V
- 0 - 32MHz od 2.7V [6]

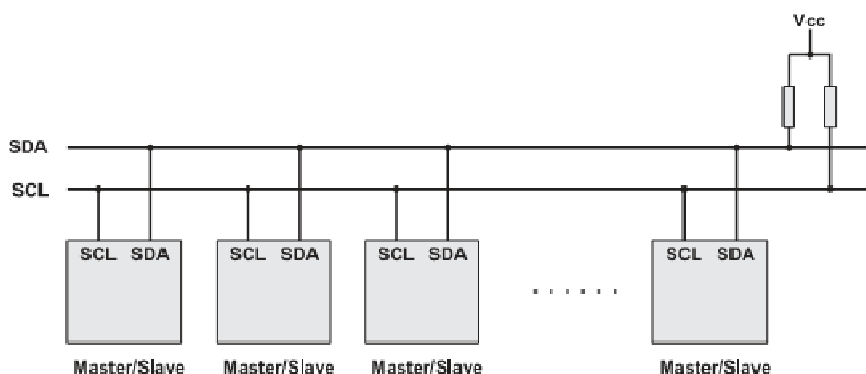
4.5.2 Komunikační standardy řady ATXmega

TWI - Two Wire Interface

Rozhraní TWI (v překladu „Dvou vodičová sběrnice“) je ve své podstatě naprosto shodná se sběrnici I²C, která je ve světě elektroniky hodně rozšířená. Nemá však implementovány všechny funkce I²C rozhraní. Pomocí TWI se dá propojit až 128 zařízení. Používá se zde totiž adresace pomocí 7-mi bitového čísla. Sběrnice je typu multi-master (podporuje připojení více zařízení řídících komunikaci na sběrnici). Sběrnice je časovaná pomocí taktovacího signálu o frekvenci 400 kHz.

Sběrnice má zavedena opatření vedoucí k odstranění náhodných rušení a šumů je ji tedy možné použít pro komunikaci na větší vzdálenosti. Aby se zúžilo spektrum přenášených frekvencí, není pro přenos dat použit klasický obdélníkový signál, ale signál lichoběžníkového charakteru.

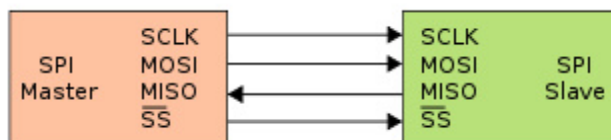
Mikrokontrolér ATXmega128A3U pak obsahuje hned dvě tyto sběrnice a to na portech C a E. Toto rozhraní by bylo použito v projektu, pokud by např. vybraný bluetooth modul, nebo kterákoliv jiná komponenta, toto rozhraní využíval.



Obr 4.4: Topologie TWI sběrnice

SPI – Serial Peripheral Interface

SPI je zkratkou pro Serial Peripheral Interface, což v překladu znamená sériové periferní rozhraní. Z názvu vyplývá, že se jedná také o sériové rozhraní sloužící pro komunikaci hlavně mezi prvky v rámci jednoho systému. Rozhraní se od ostatních používaných liší hlavně vysokou datovou propustností. Na jednu Master jednotku lze připojit několik dalších zařízení (stále na jednu sběrnici) a to díky použití signálů „slave select“. Každá ze slave jednotek používá svůj vlastní signál. Takže s každou přidanou jednotkou se zvyšuje počet vodičů, jenž je nutno připojit na master jednotku.



Obr 4.5: Topologie SPI rozhraní [13]

Vybraný mikrokontrolér obsahuje tři jednotky tohoto rozhraní na portech C,D a E. SPI sběrnice může být taktována na frekvencích běžně od 1 až do 100 MHz. Komunikace začíná zasláním logické 0. Poté již může být po obou datových linkách zahájena plně duplexní komunikace. To znamená, že je možné zároveň odesílat i přijímat data. Plně duplexní režim a vysoká taktovací frekvence jsou důvody pro tak vysokou datovou propustnost sběrnice.

USART – Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transceiver

Název sběrnice je opět zkratkou, jak je uvedeno v nadpisu. V překladu to znamená „univerzální synchronní a asynchronní přijímač a vysílač“. Jeho výhodou je (jak je z názvu patrné), že může pracovat jak synchronně (v závislosti na taktovací lince) tak i asynchronně.

UART se obvykle používá jako komunikační linka mezi mikrokontroléry a periferiemi umístěnými na stejné desce plošného spoje nebo v součinnosti s komunikačními standardy jako EIA, RS-232, RS-422, RS-485. Hlavní důvody pro použití této sběrnice je jednoduchost. Jednoduchý je jak návrh po hardwarové stránce, tak i použití při práci na firmware pro jednotlivé čipy. Další výhodou je možnost použití plně duplexního nebo polovičně duplexního režimu. Vysílání a příjem dat je realizován pomocí posuvných registrů.

Tento typ rozhraní je v práci poměrně dost uplatněn. Nalezne uplatnění jak pro komunikaci po RS232, tak i pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a bluetooth modulem. V požadavcích firmy ELVAC a.s. je pak uvedeno, že má být alespoň jeden typ tohoto rozhraní ponechán jako rezervní po pozdější inovace zařízení a přidávání dalších periférií (jako je např. čtečka karet nebo RFID technologie).

Při nastavování komunikace je možné zvolit z několika hodnot datové propustnosti (rychlosti přenosu) sběrnice. Dále pak jde zvolit délka datového slova, počet stop bitů, přidání paritních bitů a také řízení toku dat. Dvě spolu komunikující zařízení pak pro správný přenos informací musí být nastaveny identicky.

4.6 Bluetooth modul BTM112

Jak již název podkapitoly napovídá, bude zde rozebrán modul umožňující bezdrátovou komunikaci pomocí standardu bluetooth. Jedná se o modul vyráběný firmou Rayson nesoucí označení BTM112. Zmíněný výrobek je jeden z nejlevnějších modulů na našem trhu a i přes to má co uživateli nabídnout. Je to jednotka řadící se svým vysílacím výkonem do druhé třídy (do 4dBm) s dosahem až 100m (při

použití externí antény). Původně byl pro práci vybrán modul stejného výrobce s označením BTM222, s vysílacím výkonem 18 dBm s mnohem větším dosahem, ale také spotřebou energie. Pokud by byl použit výkonnější modul, poměrně výrazně by se snížila hodnota času po kterou by bylo možné zařízení provozovat na baterie. Pokud by byl výsledný dosah zařízení nedostatečný, je možné moduly vyměnit nebo použít anténu s vyšším ziskem.

Základní vlastnosti:

- Výstupní výkon +4 dBm (max.)
- Bluetooth® standard v2.0 + EDR
- Čtyři režimy s nízkou spotřebou: Hold, Sniff, Park a tzv. Deep sleep
- Podpora až sedmi slave zařízení: SCO links, ACL links, Piconet <7>
- Rozšířený datový tok – EDR (Enhanced Data Rate) kompatibilní se specifikací v0.9
- Rozhraní USB, UART a PCM (pro připojení zvukového kodeku)
- Možnosti firmware: HCI a SPP
- Integrovaný 1,8V LDO regulátor
- Jediné napájecí napětí 3,0 až 3,6 V
- Rozměry: 25,0 x 14,5 x 2,2 mm

Na serveru Pandatron viz.[12] byl zveřejněn článek o měření reálného dosahu, přenosových rychlostí a odběru proudu. Na základě výsledku měření byl potvrzen správný výběr modulu. Do příloh byly vloženy výsledky měření spotřeby pomocí osciloskopu. Přepočtené hodnoty jsou poté v tabulce níže.

	Telefon	Notebook	USB bluetooth
BTM112 int. Antena	34 m	72 m	87 m
BTM112 ext. Antena	56 m	106 m	117 m
OEMSPA-311i	40 m	75 m	89 m

Tab5: Porovnání dosahu modulů na volném prostranství [12]

Jak je patrné z výsledku měření jsou dosahy na volném prostranství obstojné a použitelné pro vyvíjené zařízení. Jediný problém je použití modulu v budovách. Díky vysoké frekvenci signálu je prostup zdmi opravdu silně zhoršen.

Řízení modulu se provádí pomocí zasílání AT příkazů po použitím komunikačním rozhraní (zvoleno rozhraní UART). Potvrzení každého z příkazů se provede pomocí odeslání příkazu <CR> , jenž je možné reprezentovat také hexadecimální kombinací, jako 0x0Dh. Kompletní seznam AT příkazů byl vložen do příloh. Na správně zaslaný příkaz reaguje zařízení odesláním „OK“. Při nesprávném zadání příkazu odpovídá modul chybovým hlášením ve formě „ERROR“. Na kompletně špatně zadaný příkaz zařízení nereaguje.

5 Technické a realizační řešení

Z toho důvodu, že se jedná o prototyp, není nutné řešit mechanickou stránku, vzhled desky a její umístění do krabičky. Deska však musí obsahovat panel s pěti tlačítky a signalizačními LED diodami, dále musí obsahovat blok externího napájení, jímž je přivedena na desku potřebná elektrická energie. Je přiváděno napětí o velikosti maximálně 15V. Jelikož použitý mikrokontrolér nepracuje s napájecím napětím o úrovni 15V, bylo nutné toto napětí snížit na velikost zhruba 3,3V.

Komunikace s nadřazeným systémem bude probíhat pomocí bezdrátové technologie Bluetooth v.2. Aby byl mikrokontrolér schopen takto s osobním počítačem (vyhodnocujícím nakonec výsledky hlasování) komunikovat, musí být deska doplněna o bluetooth modul (např. typu BTM-112). Tento modul lze zakoupit v rozmezí od 200-250 Kč. Jeho poměrně velkou výhodou je, že se velice jednoduše propojí s mikrokontrolérem pomocí sériové linky a dále stačí modul řídit pomocí AT příkazů. Modul je již při koupi předem naprogramován a schopen správné funkce. Tento modul byl vybrán nejenom kvůli nízkým pořizovacím nákladům, ale také byl brán ohled na zisk antény, jenž činí 4 dB. Větší zisk znamená větší přenosové vzdálenosti mezi hlasovacím zařízením a nadřazeným systémem, ale také vyšší spotřebu. Navrhnutý modul by měl být vhodným kompromisem mezi dostatečným vyzařovacím výkonem a velikostí spotřeby modulu.

5.1 Návrh jištění obvodu

Jelikož se v zadaném případě jedná o slaboproudou elektroniku, jež je napájena napětím o velikosti 15V, není potřeba (ke správné a bezpečné funkci obvodu) vyvíjet složité jistící mechanismy.

Ovšem s přihlédnutím na fakt, že je navrhován pouze prototyp (nemusí být po vyrobení kompletován do krabičky) byla provedeno alespoň jednoduché jištění oproti přepětí pomocí zenerových diod. Mohlo by totiž dojít k nechtěnému zkratu při programování nebo manipulaci s deskou. Což by mohlo mít katastrofické důsledky.

Největší nebezpečí nehrozí ani tak obsluze desky, jako spíše citlivým součástkám umístěným na povrchu desky. Před přepětím, které by mohlo přijít z napájecího obvodu, systém víceméně chrání dvojice integrovaných stabilizátorů (ty obsahují vnitřní jištění proti přepětí i přehřátí).

5.2 Výběr programátoru

Programátor je zařízení sloužící pro nahrání vyvinutého řídicího programu do mikrokontroléru osazeného na desce. Mikrokontrolér pak na základě programu řídí funkci celého zařízení. Obecně je pro propojení mikrokontroléru a programátoru možno využít několika typů komunikačních rozhraní. Popsané komunikační sběrnice se liší, jak počtem vodičů, tak i přenosovou rychlostí.

BDM

Název rozhraní je zkratkou pro Background Debug Mode. Je to komunikační sběrnice umožňující kromě programování mikrokontroléru také ladění programů. BDM je možné nalézt u většiny mikrokontrolérů z rodiny Freescale.

JTAG

Z anglické zkratky Joint Test Action Group. Dovoluje stejně jako předešlé rozhraní jak naprogramování mikrokontroléru tak i ladění programů. JTAG je standardizován v normě IEEE 1149.1, kde ho lze najít od roku 1990 spolu s Boundary-scan testem.

SPI

Název opět vychází z anglické zkratky Seriál Peripheral Interface. Je to, jak již název napovídá, sériové rozhraní používané pro komunikaci mezi mikrokontroléry a dalšími obvody. Komunikace probíhá pomocí 4 vodivých cest pojmenovaných zkratkovitě jako SCLK, MOSI, MISO a SS.

PDI

Toto rozhraní bylo vyvinuto speciálně pro řadu mikrokontrolérů ATXmega. Je to dvouvodičová sběrnice pro sériovou vysokorychlostní komunikaci. Používá vodiče PDI_CLK na níž probíhá časování a vodič PDI_DATA po němž jsou odesílány datové pakety.

Jak již bylo zmíněno, pro nahrání firmware do mikrokontroléru je nutno použít programátoru. Programátor je systém, jenž může mít několik podob. Může to být například pouze deska osazená patičí, do níž se zasune programovaný mikrokontrolér. Programátor se propojí s počítačem vhodným rozhraním, na němž je program vyvinut a zkompilován a vygenerován do podoby souboru (s příponou .HEX). V němž je vyvinutý program přeložen do základních assemblerovských příkazů vhodných pro daný mikrokontrolér. Po zahájení programovacího procesu již programátor nahrává data obsažená v .HEX souboru do vnitřní paměti mikrokontroléru.

Výběr vhodného programátoru závisí hned na několika proměnných. Těmi mohou být:

- Použité rozhraní mezi PC a programátorem
- Druh rozhraní mezi programátorem a mikrokontrolérem
- Typ programátoru
- Rychlost programování
- Podpora ladění hotového programu
- Cena

Výše popsané parametry jsou opravdu základní a byly vzaty v úvahu při výběru programátoru. Výběr značně omezoval fakt, že vybraný mikrokontrolér ATXmega128A3 jenž je možné programovat přes JTAG nebo PDI.

5.2.1 UniProg-USB - univerzální programátor v1.0

Programátor UniProg-USB je dodáván v krabičce redukce CAN9-CAN9. Na jedné straně je osazen konektorem USB typu A-A sloužícím jako vstup pro propojení s počítačem. Na opačné straně je poté umístěn výstupní konektor typu MLW10. Pro indikaci stavu zařízení slouží tři LED diody označené jako Pwr (Indikace napájení), Jtg (Aktivní JTAG rozhraní) a Act (aktivita zařízení např. probíhající programování mikrokontroléru).

Maximální dovolené napětí pro napájení programátoru je 5,7V, přičemž je zařízení schopno pracovat s napájecím napětím v rozmezí 2,7-5,5V. Zařízení nepoužívá napájení z USB, ale z programovaného systému. USB rozhraní je od programátoru galvanicky odděleno.

Vnitřní firmware zařízení je složen ze tří částí (bootloader, JTAG AVR a Virtuální procesor), které je možné představit si jako tři různé aplikace. Volba spouštěné aplikace se provádí automaticky po spuštění podle typu připojeného programovacího rozhraní.



Obr 5.1: Programátor UniProg v1.0

Základní informace:

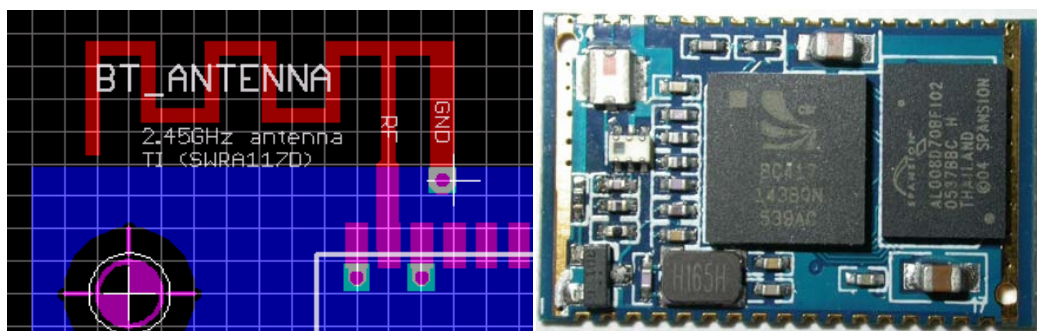
- Vysoká univerzálnost použití:
 - Vysokorychlostní programování AVR přes ISP rozhraní (spec. programem, viz. níže, write mega16 1.5sec, mega128 7.7sec)
 - Programování a ladění AVR přes JTAG rozhraní z AVR studia (kompatibilní s JTAG ICE - AVR studio podporuje pouze mega16,32,64,128,162,169,323,can128)
 - Převodník USB - SPI
 - Voltage logger / voltmeter - 2x ADC IN
 - Pomalý logický analyzátor / digitální controler - až 7 DIO
- Jednoduché připojení k osobnímu počítači přes USB port.
- Plnohodnotné galvanické oddělení.
- Programování přímo v aplikaci (výstupy jsou typu 3 stavová logika).
- Napájení 3.3V-5.0V (z připojené aplikace).
- Možnost změny vnitřního firmware pomocí vestavěného bootloderu.
- Programovací konektor typu MLW10 - kompatibilní s konektory základových desek systému MVS PKDesign.
- Automatické spuštění ISP/JTAG firmware na základě detekce typu připojeného kabelu (s/bez redukce v konektoru MLW10).
- Velmi malé rozměry – obal je typu „redukce CAN9-CAN9“.
- Součástí balení je USB kabel k PC a propojovací kabel PFL10-PFL10 [10]

5.3 Popis zapojení:

Zapojení celého systému bylo koncipováno s ohledem na požadavky firmy ELVAC a.s. tak i na další samostatně zvolené kritéria. Pro zvýšení přehlednosti bylo rozděleno do pěti částí. V prvním bloku nazvaném MCU je umístěn mikrokontrolér (ATXmega128A3 v SMD formě montáže) s krystalovým oscilátorem pro nastavení pracovního taktu mikrokontroléru. Na jeho svorky bylo připojeno napájení a nulový potenciál. Dále zde byly přidány blokovací kondenzátory pro blokování možného rušení na napájecí lince způsobeném ostatními bloky a prvky systému. Na mikrokontrolér jsou pomocí vhodně pojmenovaných odkazů připojeny další bloky obvodu. Ve spodní části bloku schématu jsou ještě 4 prvky (H1-H4) toto jsou díry, jež slouží k montáži výsledné desky do krabičky.

Dalším navrhnutým blokem schématu je blok KEYS, PROGRAMMING obsahující tlačítka pro zadávání voleb a resetování zařízení a konektor pro PDI rozhraní použitého pro nahrávání programu do mikrokontrolérů rodiny ATXmega (tento typ rozhraní byl podrobně rozebrán v kapitole 3). Použitá tlačítka ve schématu jsou typu pro montáž přímo do DPS.

V pořadí třetím navrhnutou částí je blok SIGNALIZATION, BLUETOOTH_COM. Opět jak již název napovídá, jsou v tomto bloku dvě podčásti. První z nich se stará o interakci s uživatelem pomocí LED diod a ta druhá o komunikaci zařízení s nadřazeným systémem pomocí komunikačního standardu bluetooth. Pro indikaci stavů volby byly použity 4 modré SMD LED diody a pro indikaci stavu zařízení jedna zelená SMD LED dioda. Pro bezdrátovou komunikaci zařízení byl zvolen bluetooth modul typu BTM-112 (tento typ byl podrobně rozebrán v kapitole 3). Na modul bylo připojeno napájení o velikosti 3,3V, a na desce mu bude planárně vyrobena (vyleptaná na DPS) anténa uzpůsobená přímo ke komunikaci na frekvenci 2,45 GHz. Na druhé straně desce plošného spoje „nad anténou“ nebylo provedeno vylití zemí.



Obr 5.2: Bluetooth modul BTM112 a planárně vyrobená anténa 2,45 GHz

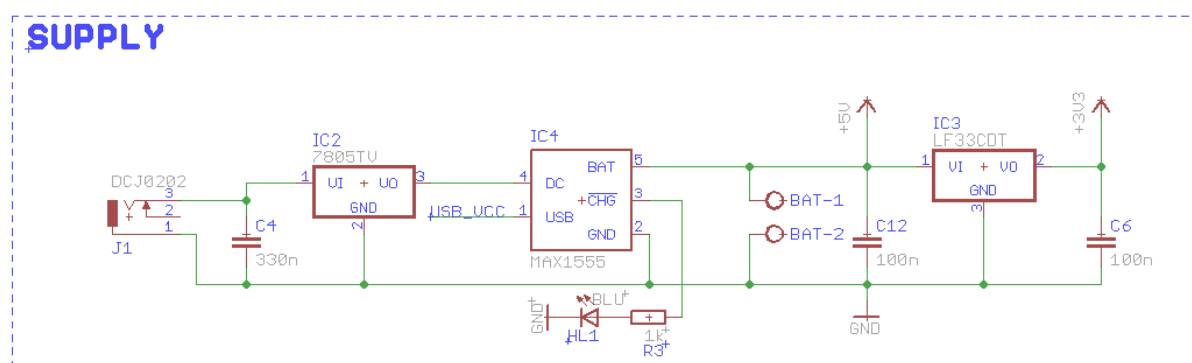
Dále byla na modul BTM-112 připojena sériová linka UART a LED diody indikující stav modulu (jedna červená a jedna zelená). Modul BTM-112 se dá namontovat na DPS pomocí PIN lišt napájených na zlatené plošky na jeho bocích nebo se dá pomocí těchto plošek modul připojit přímo na plošky na DPS.

Čtvrtým popisovaným blokem je ten s názvem RS232, USB. Z názvu je patrné, že půjde o částí umožňující zařízení komunikovat s okolím pomocí sériové linky (standard RS-232) nebo univerzální sériové sběrnice (standard USB). Z toho důvodu, že byl pro řízení systému použit mikrokontrolér

ATXmega128, jenž již má prostředky pro komunikaci pomocí USB přímo integrované na čipu a realizace tohoto rozhraní v zařízení je velice jednoduchá (pouze 3 rezistory a dvě ochranné zenerové diody na datových linkách). Pro realizaci linky RS-232 bylo nutné použít převodník z linky USART na RS-232. Pro tyto účely je možné použít obvody MAX232, což je levný a jednoduchý převodník používající napájení 5V. Bohužel v navrhované aplikaci je použito napájení o velikosti 3,3V (viz další odstavec) a to je trochu problém. Naštěstí je možné použít podobný převodník MAX3223 se stejnou funkcí avšak aplikovatelný pro napájení o velikosti 3,3V. Převodník používá ke své funkci 4 externí kondenzátory o kapacitě 1 μ F. Kvůli miniaturizaci celého zařízení byl původně navržený výstupní konektor sériové linky CANON9 nahrazen mnohem menším konektorem RJ45 (byl to požadavek vznesený firmou ELVAC a.s. na jedné z konzultací). Nevýhoda ovšem je v nutnosti výroby kabelu na jedné straně zakončeným konektorem CANON9 a na druhé RJ45.

Pátou a poslední částí schématu je blok napájení pojmenovaný jako SUPPLY. Popisovaný blok byl navrhnout ve dvou verzích. Po konzultaci s firmou ELVAC a.s. byla vybrána verze, která byla pro jejich účely přijatelnější.

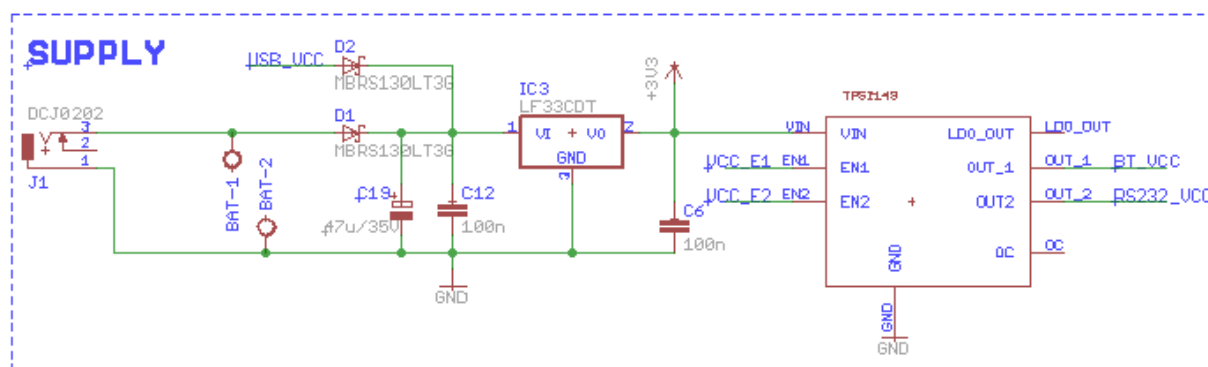
Jako první byl navrhnout napájecí obvod na základě obvodu MAX1555. Hlavní myšlenkou zde bylo napájet zařízení 20V stejnosměrným zdrojem nebo pomocí USB. Z těchto zdrojů by byl nabíjen vnitřní akumulátor označený jako G1. Při napájení z externího adaptéru by byla provedena stabilizace na 5V pomocí integrovaného stabilizátoru LM7805. Výhoda použití obvodu MAX1555 je, že automaticky dokáže vybírat mezi dvěma vstupními linkami napájení a vybere první připojenou. Další výhodou tohoto obvodu je, že je to v podstatě obvod určený pro řízení nabíjení Li-Ion akumulátorů. LED připojená na pin č. 3 dokáže indikovat průběh nabíjení článku. V tomto zapojení bylo počítáno se zabudováním akumulátoru do zařízení. Na výstupu je již jenom stabilizátor LF33CDT na jehož výstupu je 3,3V napájení používané zbytkem systému. Po konzultaci s firmou ELVAC a.s., bylo toto zapojení zhodnoceno jako zbytečně nákladné a méně přizpůsobivé zákazníkovi.



Obr 5.3: První navrhnutý způsob napájení systému

Druhý způsob napájení (schválený firmou) je uveden na následujícím obrázku níže. Opět je zde možné napájet systém pomocí externího vstupu, USB nebo baterií, s tím, že pokud by zákazník požadoval zabudování akumulátoru do zařízení, používal by se k jeho napájení pouze externí vstup, jenž by sloužil pro připojení externí nabíječky vhodné pro zabudovaný typ akumulátoru. Z důvodu ochrany v případě, že by byl pro napájení použit externí vstup a někdo by připojil systém k USB, jsou zde dvě

schottkyho diody (D1 a D2). Důvod jejich použití je ten, že schottkyho dioda má menší prahové napětí a vzniká na ní mnohem menší úbytek než na obyčejné křemíkové diodě. Na obyčejné diodě díky vyššímu vnitřnímu odporu vzniká úbytek napětí 0,6-1,2V v závislosti na typu diody. Na schottkyho diodě vzniká úbytek 0,15-0,45V. Popisované zapojení bylo dále doplněno o obvod elektronického spínače TPS2149. Zmíněný integrovaný obvod funguje podobně jako relé. Je ho však jednoduše možné řídit pomocí mikrokontroléru. Výstupy integrovaného obvodu jsou použity pro napájení bluetooth modulu BTM-112 a RS-232 převodníku. Mikrokontrolér má tedy díky obvodu TPS2149 možnost vypnout určité části systému a tak šetřit energii vnitřního akumulátoru nebo baterií.



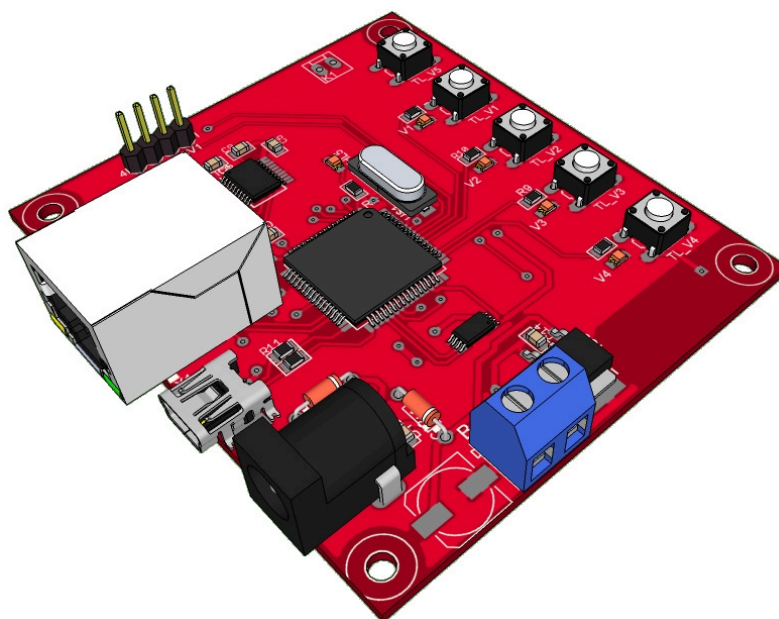
Obr 5.4: Druhý navrhnutý způsob napájení systému

Kompletní navrhnuté schéma bylo formou obrázku vloženo do příloh. Na CD přiloženém k práci jsou pak umístěny soubory pro návrhový systém Eagle, jenž byl použit pro sestavení schématu a následně také desky plošného spoje.

5.4 Popis navrhnuté desky plošného spoje:

Stejně jako schéma popisované v minulé podkapitole, byl i návrh desky plošného spoje (dále již jen DPS) proveden v návrhovém systému Eagle. Výsledný vzhled DPS je možné najít v přílohách nebo na přiloženém CD. Navíc byl návrh konvertován do programu Google SketchUp a je možné si jej prohlédnout také v 3D pohledu (umístěno na přiloženém CD). Ve fázi návrhu je možnost zobrazit si 3D návrh velmi k užítku. Návrhář si může prohlédnout skutečný vzhled navrhovaného systému. Může si celý návrh natáčet a dívat se na něj z různých úhlů s různým přiblížením.

Z toho důvodu, že by byl popis jednotlivých stran ve tvaru levá, pravá, horní, dolní hodně zavádějící (hlavně horní, dolní strana DPS) bude pro popis stran v tomto odstavci použit popis ve smyslu severní, jižní, východní a západní strana desky. DPS byla koncipována tak, že na východní straně desky jsou umístěny konektory určené k napájení, komunikaci pomocí USB a bluetooth. Dále je pak tato strana doplněna o resetovací tlačítko (na obrázku není vidět, jelikož je za konektorem RJ45). Aby bylo tlačítko dobře přístupné z boku krabičky, byl použit typ umisťovaný svisle.



Obr 5.5: Výsledek návrhu ve 3D pohledu

Na severní straně desky je poté umístěna pin-lišta použitá jako vývod PDI programovacího rozhraní. Přes ni lze připojit zakoupený programátor a nahrát firmware do mikrokontroléru. Dále je zde také konektor pro připojení externího potvrzovacího tlačítka. Firma ELVAC a.s. má totiž v plánu použít pro potvrzovací tlačítko robustní a zřetelnější provedené tlačítkového spínače. Tlačítkový spínač osazený na desce plošného spoje slouží hlavně ve fázi testování. Při sériové výrobě zařízení již nemusí být osazen. Tento ovšem nebyl obsažen spolu s elektrolytickým SMD kondenzátorem v knihovně EagleUP programu pro vytvoření 3D modelu. Proto tyto dvě komponenty na 3D modelu chybí. Na východní straně desky byly umístěny ovládací tlačítka. První z nich je použito pro potvrzení volby. Další 4 tlačítka jsou zde pro výběr volby. Jak je z obrázku patrné, každé z tlačítek pro výběr volby má vedle sebe vloženou také indikační LED diodu pro zobrazení aktuální volby uživatele. Na Jižní straně je pak jen již svorkovnice pro připojení zabudovaného akumulátoru nebo baterií.

Uprostřed DPS byl umístěn mikrokontrolér ATXmega128A3 s krystalovým oscilátorem dále pak další integrované obvody TPS2149 a MAX3223. Na spodní straně DPS pak byl umístěn bluetooth modul BTM-112 a planárně vyrobená 2,4GHz anténa. V rozích desky jsou otvory pro montáž DPS do krabičky. Většina použitých součástek byla vybrána v provedení typu SMD z důvodu jednoduchosti, menších rozměrů a také možnosti sériové výroby.

5.5 Návrh chladiče stabilizátoru

Pokud je prováděn návrh zařízení ve kterém jsou komponenty produkující odpadní teplo, měl by být vypočten jejich ztrátový výkon a zvážena instalace chladiče. Začíná se vypočtením výkonové ztráty vznikající na stabilizátoru. K tomu mohl být výpočet proveden, je třeba znát alespoň přibližně proud, jenž tímto stabilizátorem poteče. Jednotky, které budou spotřebovávat energii takovou měrou, že se to

nedá zanedbat, jsou LED diody, mikrokontrolér a bluetooth modul. Další bloky s nízkou spotřebou jsou při výpočtu zanedbány.

$$I_{celk} = n \cdot I_{LED} + I_{uc} + I_{BTM-112} = 5 \cdot 0,02 + 0,015 + 0,046 = \underline{\underline{0,161 \text{ A}}}$$

Nyní již můžeme vypočítat výkonovou ztrátu (ta je přeměněna v teplo a je třeba jí odvést pomocí chladiče).

$$P_{TOT} = (U_{EXT} - U_{out}) \cdot I_{celk} = (16 - 3,3) \cdot 0,161 = \underline{\underline{2,04 \text{ W}}}$$

Takto vypočtená ztráta se může zdát vysoká, ale je třeba brát ohled na to, že je počítáno s nejhorším možným případem. Napájecí napětí bylo použito to největší, které je schopen stabilizátor ještě zpracovat. Pro výpočet byly použity hodnoty proudů z firemních dokumentací, takže výpočet nemusí být úplně přesný.

Pokud by se použilo napájení o velikosti 5V (např. z USB) bude již výkonová ztráta mnohem nižší, jak lze vidět z následujícího výpočtu.

$$P_{TOT} = (U_{EXT} - U_{out}) \cdot I_{celk} = (5 - 3,3) \cdot 0,161 = \underline{\underline{273 \text{ mW}}}$$

Tepelná odpor přechodů čip-pouzdro a pouzdro-chladič.

$$R_{thj-c} = 3 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad R_{thc-h} = 0,15 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} - \text{montáž pomocí silikonové vazelíny}$$

Nyní je možné vypočítat teploty pouzdra a chladiče

$$\text{Teplota pouzdra - } T_c = T_j - (R_{thj-c} \cdot P_{TOT}) = 200 - (3 \cdot 2,04) = 193,88 \text{ K}$$

$$\text{Teplota chladiče - } T_h = T_c - (R_{thc-h} \cdot P_{TOT}) = 189,47 - (0,15 \cdot 2,04) = 193,77 \text{ K}$$

Z daných a vypočtených hodnot se již dá vypočítat maximální tepelný odpor chladiče a poté i minimální plocha použitého chladiče

$$\text{Maximální tepelný odpor chladiče - } R_{thh-a} = \frac{T_h - T_a}{P_{tot}} = \frac{188,94 - 45}{3,51} = \underline{\underline{42,41 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}}}$$

$$\text{Minimální plocha chladiče - } S = \frac{C_1 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot C_2}{R_{thh-a} - C_1 \cdot 1,73} = \frac{1 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot 0,43}{41 - 1 \cdot 1,73} = \underline{\underline{8,03 \cdot \text{cm}^2}}$$

Dle výpočtu by tedy měl být použit chladič s plochou minimálně 8,03 cm². Pokud je vzato v úvahu to, že se jedná o čtverec s délkou strany cca 2,88 cm a fakt že je výpočet naddimenzovaný na nejhorší podmínky, je z výpočtu patrné, že místo chladiče je možné použít SMD stabilizátor s montáží přímo na plošný spoj. Při ožiování je třeba kontrolovat teplotu a případně přidat další chladič, ale nemělo by to být nutné.

5.6 Zhodnocení prostředí a výběr materiálu pro DPS

Hlasovací zařízení bývají běžně používána v kancelářském prostředí. Není nutné se tedy obávat agresivních nebo prašných podmínek. Materiál desky také nemusí odolávat vysokým teplotám. Hlasovací zařízení totiž nepracuje s výkonovou technikou ani vysokými proudy. Deska plošného spoje se jistě nezahřeje více než na 80°C. Výše popsané požadavky splňují jistě všechny vyráběné materiály.

Vzhledem k použití oboustranné desky plošného spoje však jistě mezi spoji na obou stranách bude vznikat parazitní kapacita. Tato parazitní kapacita by pak při použití vysokých frekvencí (komunikační kanály) mohla mít za následek ztráty na užitečném signálu. Tyto ztráty by měly být naprosto zanedbatelné. Pokud by zde však vznikal problém, bylo by jistě pro výrobu DPS použít materiály na základě polytetrafluorethylénu.

Možná největší význam bude mít pohled na mechanické zatěžování desky. Hlasovací zařízení by se totiž dalo přiřadit ke skupině mobilních, často přenášených zařízení. Je tedy poměrně žádoucí, aby bylo schopno odolat pádu a nešetrnému zacházení (z toho vyplývají také požadavky na konstrukci krytu – její návrh však není účelem této práce).

Z výše popsaných požadavků jasně vyplývá, že by jistě nebylo vhodné použít materiály na základě polyesterových pryskyřic. Tyto materiály jsou relativně levné, jejich použití přináší problémy s kroucením a ohýbáním desky. Také se v nich poměrně obtížně vytvářejí prokovy. Pro výrobu lze přímo doporučit materiály na základě fenolických a epoxidových pryskyřic.

5.6.1 Materiály na základě fenolických pryskyřic

Základní materiál, kterým je nejčastěji vrstvený papír, umístěný mezi měděné fólie se impregnuje ve vakuu fenol-formaldehydovou pryskyřicí. Tlakem a zvýšenou teplotou dojde k zesílení molekul a vzniká základní deska. Obsah pryskyřice se pohybuje v rozmezí 35-58%. [9]

Takto vyrobená deska plošného spoje má velice dobré izolační a elektrické vlastnosti. Její nízká cena je také důvodem širokého rozšíření těchto materiálů do oblasti spotřební elektroniky. Pokud je však použit vyšší obsah fenolické pryskyřice, dochází k tvrdnutí materiálu. Vyrobená deska je pak také mnohem křehčí a náchylnější k prasknutí. Jak tvrdnutí tak i křehnutí základního materiálu zvyšují náročnost mechanického zacházení s deskou (např. vrtání, řezání apod.).

Dle označení NEMA (National Electrical Manufacturers Association) se vyrábí materiály s různou tvrdostí a křehkostí. Například tvrdost se označuje symbolem X, křehkost symbolem P (při označení P je možno razit otvory), PC označuje možnost razit otvory za studena. [9]

5.6.2 Materiály na základě epoxidových pryskyřic

Epoxidovou pryskyřicí rozpouštěnou v rozpouštědle se impregnuje většinou skelná tkanina (popřípadě papír), která se vysuší a nařeže na požadovanou velikost. Tím vzniknou tzv. prepregy, které se vloží mezi měděné fólie. Dále následuje vytvrzování pryskyřice pod tlakem za přítomnosti katalyzátoru

v lisech. Vytvrzená pryskyřice je stabilní a odolává kyselinám a zásadám. Avšak při zvýšené teplotě měkne. [9]

Materiály na základě epoxidových pryskyřic se dělí do skupin s charakteristickými parametry, kvalitou a cenou. Například jako G10 se označuje základní materiál pro výrobu DPS. Vyrábí se ze skelných vláken lisovaných spolu s epoxidovou pryskyřicí do tvaru desek. Materiál je možné použít pro většinu výrobku, kde frekvence signálů na desce nepřesáhnou hodnotu 40 MHz.

Nejkvalitnější a také nejdražší materiál na bázi epoxidových pryskyřic má označení G11. Základem je skelná tkanina a modifikovaný epoxid. Hůře se opracovává, avšak má vynikající tepelnou odolnost (po jedné hodině při teplotě 150 °C si zachovává 50% pevnost v ohybu). Pro SMD je nejvhodnější materiál aramidové vlákno impregnované epoxidovou pryskyřicí. Má nízkou tepelnou roztažnost, a proto je vhodné pro SMD s velkým počtem vývodů a také tam, kde se vyskytují teplotní cykly s extrémními teplotami[9]

5.7 Firmware pro Mikrokontrolér

Firmware (tedy řídicí program pro mikrokontrolér) byl vytvořen v AVR Studiu verze 5.0. Popsané vývojové prostředí je přímo určeno pro vývoj programů do mikrokontrolerů ATMEL. Vývojové prostředí je typu freeware (tedy s volnou licencí) a je možné si jej stáhnout na domovských stránkách firmy ATMEL. Vývoj programu probíhá v jazyce C/C++. Vývojové prostředí AVR Studio programátorovi dokáže usnadnit práci. Díky tomu, že bylo postaveno na platformě Visual Studia od firmy Microsoft, má nejen podobný vzhled, ale také hodně užitečných funkcí. Za zmínku jistě stojí našeptávání. Tato funkce uživateli předkládá příkazy nejvhodnější příkazy podle napsaných znaků. Našeptávání má naprogramovanou také jistou inteligenci a předkládá na prvním místě nejobvykleji používané příkazy. Koncepte celého okna se také velice podobá již zmíněnému Visual Studiu. Obdobně se zde také dají vložit knihovny s vytvořenými sekvencemi kódů. Vývojové prostředí dále nabízí standardně možnost ladění a kompilace programu a navíc zde byla vložena také možnost simulovat běh programu na zvoleném jádře, pro nějž je program vyvíjen.

Práce na programu byla ztížena díky výběru poměrně nového mikrokontroléru. Řada ATXmega ještě totiž mezi zákazníky firmy Atmel rozšířena jako řada ATmega, a proto je na internetu jen opravdu základní množství informací a pilotních programů. Také se v některých zásadních detailech od řady ATmega liší, a proto je nutností dobře se seznámit s firemní dokumentací. Velké množství nově integrovaných technologií a komunikačních standardů však ve výsledku převáží nevýhody spojené se studiem dokumentace.

5.7.1 Navrhnutý systém komunikace

Vyvinutý hlasovací systém používá, jak již bylo zmíněno v kapitolách dříve, pro komunikaci s vyhodnocovacím počítačem tři druhy komunikačních standardů. Jedná se o RS232 (sériová linka), bluetooth a USB. Pro vnitřní systémovou komunikaci mezi kontrolérem a jednotlivými perifériemi (bluetooth modul BTM-112) je poté použita linka USART. V podstatě je sběrnice USART použita také při komunikaci s nadřazeným vyhodnocovacím PC při komunikaci po RS232 jenom s rozdílem, že je zde hardwarový člen pro přizpůsobení napěťových úrovní.

Pro zjednodušení programování a také možnosti virtuálního propojení obou sériových linek při programování, byly nastaveny obě USART rozhraní naprosto shodně. Nejprve byla zprovozněna linka propojující vyrobený přípravek s počítačem. Poté již bylo možné zasílat a zobrazovat data obsažená uvnitř mikrokontroléru na obrazovku počítače. Na počítači byl pak pro zpřístupnění ovládání sériového portu použit program Hercules utility ve verzi 3.2.5 od vydavatele HW Group. Sériové komunikační linky typu USART byly tedy nastaveny následovně:

Přenosová rychlost:	19200 bps
Počet datových bitů:	8 bitů
Parita:	žádná
Počet stop bitů:	1
Řízení datového toku:	HW nebo žádné

Nastavení vychází z tovární konfigurace pro komunikační linku UART bluetooth modulu BTM112. Modul BTM112 byl detailně rozebrán v kapitole 4.6. Mikrokontrolér zasílá bluetooth modulu po sériové lince AT příkazy v textové podobě. Zařízení se tak dá resetovat, dá se mu změnit jméno, pin kód, přenosové rychlosti apod. Po připojení např. k počítači se začne spojení tvářit jako sériová linka a jakékoliv data odeslané z mikrokontroléru jsou odesílány do počítače. Na straně příjmu se bluetooth modul také začne tvářit jako virtuální COM port a příchozí data se dají zobrazit např. pomocí již zmíněného programu Hercules utility.

Asi nejjednodušším způsobem jak dosáhnout komunikace po USB pomocí zasíláním zpráv mezi hlasovacím systémem a obslužným softwarem na PC je použitím CDC (Communication Device Class) třídy zařízení. Zařízení této třídy v operačním systému poté vystupuje jako virtuální sériový port. Použití takového portu v klientské aplikaci je díky velkému množství knihoven snadné.

Zpracování USB komunikace je však již o poznání složitější. Na internetu jsou pouze kusé informace jak tohoto pomocí mikrokontroléru ATXmega128A3U dosáhnout. Velikou výhodou však pro programátora je stažení nejnovějšího vývojového prostředí. AVR Studio ve verzi 6 má totiž velice užitečnou komponentu označenou jako ASF (Atmel Software Framework). Pomocí ní se dají vytvářet a rozšiřovat již hotové nebo před připravené programy pro vývojové desky ATMEL. Pro zavedení USB do systému bylo třeba vytvořit nový projekt a jako šablonu použít projekt s názvem „USB Device CDC Example – STK600 – Atxmega128A1“. Jak již název napovídá, program je určen pro vývojový KIT s typovým označením STK600. Ten je osazen mikrokontrolérem ATXmega128A1 a externím krystalovým oscilátorem pracujícím na frekvenci 8 MHz. Při vytváření projektu z této šablony si vývojové prostředí samo načetlo všechny potřebné knihovny, jež byly vhodně přednastaveny. K dispozici byl hned hotov také ukázkový kód a celá vygenerovaná aplikace byla okamžitě kompilovatelná.

Jediný problém je, že takto vytvořená aplikace je přímo určená pro popsany typ vývojového kitu. Vytvářený hlasovací systém je postaven jinak než vývojový kit. Bylo tedy zapotřebí procházet velké množství předpřipravených knihoven a zjišťovat které z mnoha uvedených parametrů je třeba měnit. Hlavními rozdíly mezi deskami jsou různé mikrokontroléry a externí krystalové oscilátory. Mikrokontrolér je možné vyměnit ve vlastnostech celého projektu (v záložce Devices) a takt externího

krystalového oscilátoru je možné nastavit v souboru `stk600_rc044x.h` umístěného na adrese `(\src\asf\xmega\boards\stk600\rc044x\stk600_rc044x.h)`. Je třeba změnit následující parametry:

```
#define BOARD_XOSC_HZ      24000000
#define BOARD_XOSC_TYPE    XOSC_TYPE_EXTERNAL
#define BOARD_XOSC_STARTUP_US 500000
```

Další parametry již není třeba měnit. Nastavení USB připojení k USB rozhraní se nachází v souboru `conf_usb.h` umístěném na adrese `((src\config) conf_usb.h)`. Všechny parametry jsou důležité a je dobré, že jsou již přednastaveny. Nicméně nejdůležitější jsou dva z nich: jedná se o Vendor ID a Product ID (zkráceně VID a PID). Jejich kombinace vypovídá nadřazenému systému (HOST) o tom, jaké zařízení je připojeno. Definují také propojení s potřebným ovladačem a specifikují rovněž třídu připojeného zařízení (HID, CDC, MassStorage apod.). Parametr VID je přednastaven na `0x03EB` a PID na hodnotu `0x2310`. Tak je specifikováno, že se jedná o CDC zařízení, což znamená, že se v systému Windows (ve správci zařízení) zobrazí jako Sériový port. Dále je ještě nastaveno jméno zařízení (jak se bude zobrazovat ve Windows) a název vydavatele.

```
#define USB_DEVICE_MANUFACTURE_NAME    "ATMEL ASF"
#define USB_DEVICE_PRODUCT_NAME        "CDC Virtual Com"
```

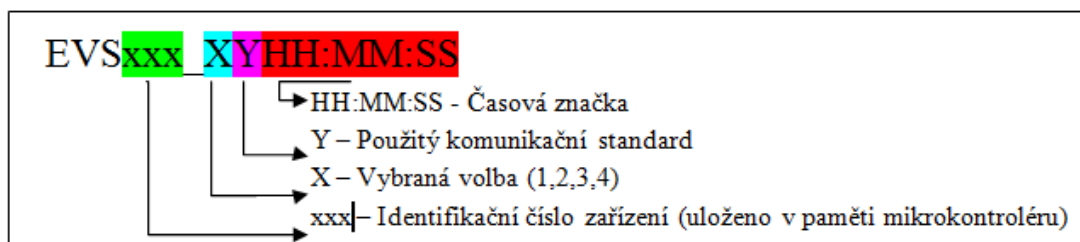
Po naprogramování zařízení je ještě nutné nainstalovat ovladač. Ten se opět sám vytvoří po vygenerování projektu a je ho možné nalézt ve složce s projektem (soubory s příponou .inf). Instalace je velice snadná pomocí manuálního přidání ovladačů z uživatelského umístění. Po nahrání řídicího programu do mikrokontroléru se zařízení tváří jako zařízení připojené přes sériovou linku s parametry:

Přenosová rychlost:	112500 bps
Počet datových bitů:	8 bitů
Parita:	žádná
Počet stop bitů:	1
Řízení datového toku:	HW nebo žádné

5.7.2 Komunikační protokol

Pro komunikaci mezi hlasovacím systémem a nadřazeným systémem byl použit unikátní protokol, jenž při jednom odeslání dat specifikuje typ zařízení, identifikační kód zařízení, zvolenou volbu a použité komunikační rozhraní. Na konec zprávy byla ještě navíc přidána časová značka (kdy byl údaj vygenerován). Nadřazený systém odpoví zařízení hláškou „OK“.

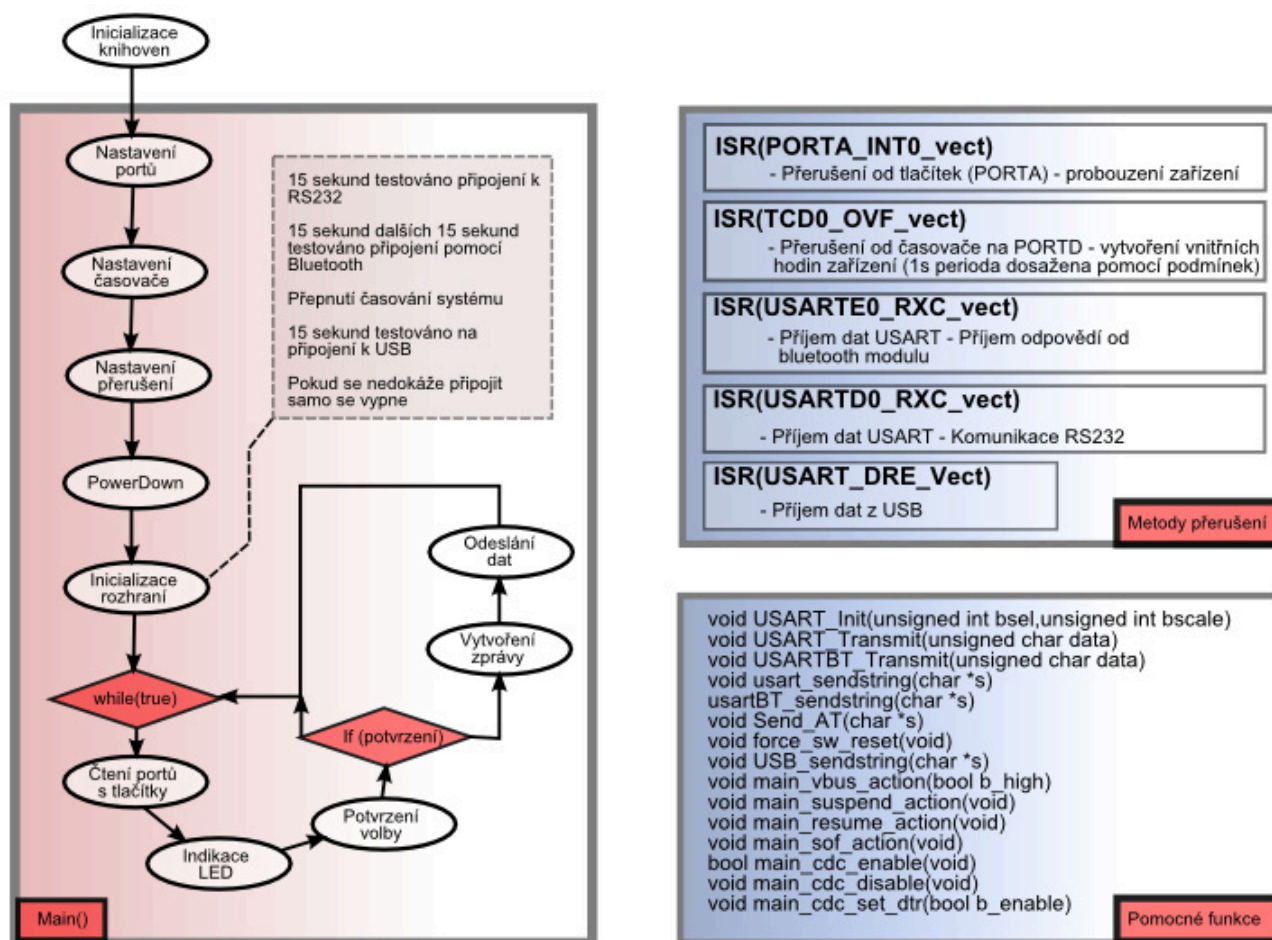
Komunikační protokol má následující tvar:



Přidání časové značky do protokolu značně zvyšuje náročnost projektu. Po zapnutí zařízení si totiž musí daný mikrokontrolér stáhnout z nadřazeného vyhodnocovacího počítače aktuální čas. Po získání aktuálního času si musí hlasovací systém nastavit a spustit vnitřní hodiny. Při potvrzení vybrané volby se pak přidá k zasílaným údajům i aktuální čas a celá zpráva je uložena do odesílacího bufferu.

5.7.3 Topologie řídicího programu

Pro zvýšení přehlednosti a zjednodušení popisu byl vyvinutý program převeden do velice zjednodušeného UML schématu s vysokou mírou abstrakce. Pokud by však byl program rozkreslen podrobněji, bylo by se obtížné v něm vyznat.



Obr 5.6: UML schéma řídicího programu

Popis schématu:

Na levou stranu byl umístěn blok představující funkci Main(), v níž se nachází podstatná část celého algoritmu. Na pravé straně je pak možné nalézt funkce volané při obsluze přerušení seřazené do jednoho bloku a funkce sjednocující kód se stejným významem, pro zpřehlednění celé aplikace, vložené do bloku druhého.

Aplikace začíná inicializací používaných knihoven. V celém projektu nebyly, kromě standardních knihoven poskytnuté firmou Atmel v rámci vývojového prostředí AVR Studio 6, použity žádné další soubory knihoven. Toto bylo dodrženo hlavně kvůli nezávislosti programu na koupi licencí apod.

Díky použití vzorového projektu pro komunikaci po USB v rámci ASF (jak bylo popsáno v kapitole 5.7.1 Navržený systém komunikace) narostl seznam knihoven velice znatelně. Vygenerovaný pak také zabírá nemalé množství Flash paměti mikrokontroléru.

Hned po startu funkce Main() se provede nastavení portů. Jednotlivé piny portů se definují jako vstupy nebo výstupy pomocí zápisu hodnot do řídicích registrů PORTx_DIR. Poté jsou každému pinu všech portů přiřazeny výchozí stavy (log.1 nebo 0). V dalším kroku se provede inicializace časovače. Ten je v projektu velice důležitý kvůli vytvoření vnitřních hodin zařízení. Ty jsou vytvořeny pomocí 3 proměnných nazvaných příhodně HH, MM a SS. Vnitřní hodiny jsou pak používány také k počítání pěti sekundového stisknutí potvrzovacího tlačítka pro vypnutí zařízení nebo pro vytvoření 15-ti sekundových cyklů inicializace synchronizace.

V dalším kroku je provedeno nastavení přerušovacího systému zařízení. Přerušení běhu základního algoritmu a skok do obslužné rutiny je možný na základě několika událostí (např. příjem dat na sériové lince, stisknutí tlačítka na Portu A, přerušení od časovače atd..). Na základě vektoru vyvolaného přerušení si mikrokontrolér v paměti vyhledá obslužnou rutinu (z bloku Metody přerušení) a provede požadovaný úsek kódu. Po provedení obslužné rutiny se vrací na místo přerušení a pokračuje v práci.

Po nastavení přerušení je zařízení převedeno do Power Down režimu. V tomto režimu je zařízení v podstatě vypnuté. Mezi režimy Idle, Power Safe, Standby a Extended standby je právě režim PowerDown ten nejúspornější. Při převedení zařízení do tohoto režimu jsou vypnuty téměř všechny vnitřní obvody čipu (vypínají se dokonce i vnitřní oscilátory). Kvůli možnosti v tomto režimu co nejvíce snížit spotřebu, bylo použito spínání napájení a před přechodem do režimu PowerDown je vypnut převodník MAX3223 a bluetooth modul BTM-112. Zařízení je z tohoto stavu možné „vzbudit“ pouze pomocí asynchronního přerušení od portů nebo přerušením od TWI rozhraní. Právě z důvodu možnosti vzbudit zařízení z PowerDown režimu bylo před jeho aktivací nastaveno přerušení. Stisknutím kteréhokoliv tlačítka pro výběr možností (4 tlačítka na portu A) lze zařízení probudit. Normálnímu uživateli to bude připadat jako zapnutí zařízení.

Po přechodu zařízení do normálního režimu (uživatelské zapnutí zařízení) se nejprve provede inicializace používaného rozhraní. V tomto kroku je důležité, aby na hostitelském počítači již byla spuštěna klientská aplikace. Zařízení se pak v 15-ti sekundových cyklech pokouší k počítači a vyhodnocovacímu klientovi připojit, a to nejprve pomocí rozhraní RS232, poté pomocí bluetooth a nakonec pomocí sběrnice USB. Pokud se mu nepovede přihlásit ani jednou z možností, převede se automaticky zpět do PowerDown režimu programovým restartem. Restart je proveden pomocí zapnutí komponenty Watchdog bez jejího nulování.

Pokud se hlasovací zařízení zdárně propojí s vyhodnocovacím programem, přejde program do nekonečné smyčky `while(1)`. V ní setrvává až do vypnutí nebo odpojení napájení. V nekonečné smyčce je naprogramován hlasovací proces i odesílání dat počítači po inicializovaném typu rozhraní.

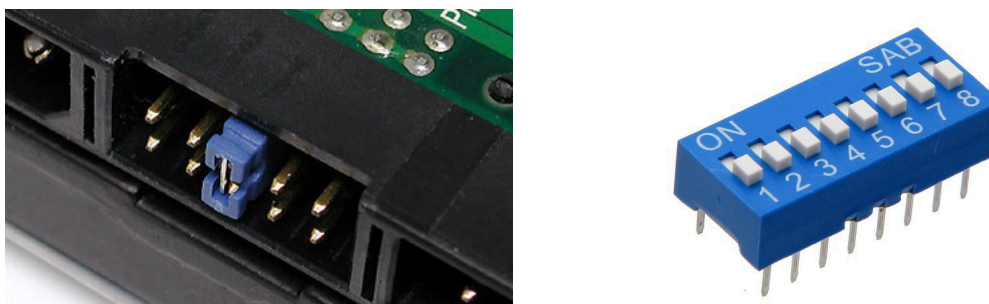
Pomocí několika vhodně umístěných podmínkových příkazů jsou snímány data z portu A (portu s tlačítky voleb) a data z prvního pinu portu C (potvrzovací tlačítko). Při stisku kteréhokoliv z nich se provede odpovídající podmínka. V případě tlačítek pro volbu to znamená změnu kombinace rozsvícených LED diod. Je vždy rozsvícena ta dioda, jejíž tlačítko bylo stisknuto jako poslední. Tak je uživateli indikováno, která z voleb bude odeslána k vyhodnocení.

Při stisknutí potvrzovacího tlačítka je provedena volba komunikačního rozhraní (podle toho, které rozhraní bylo inicializováno). Dále je pomocí funkce `sprintf()` vytvořena zpráva ve formátu `EVSxxx_XYHH:MM:SS`, jenž byl popsán v předchozí kapitole (5.7.2 Komunikační protokol). Takto připravená zpráva je již jen zavoláním vhodné pomocné funkce (`usart_sendstring()`, `USB_sendstring()` nebo `posli_AT()`) odeslána nadřazenému systému k vyhodnocení.

Zatím byla popsána pouze základní funkce programu definována funkcí `Main()` a prvky přerušení. Třetí poměrně podstatnou část aplikace tvoří pomocné funkce a metody seskupené do vlastního bloku. Popisovat funkci jednu po druhé by bylo asi zbytečné, protože vše je poměrně dobře okomentováno ve zdrojovém kódu. Obecně jde o funkce pro práci s USB rozhraním nebo odesíláním dat po některém z komunikačního rozhraní.

5.7.4 Volba ID zařízení

Jedinou nepopsanou záležitostí, co se týče řídicího firmware, je vytvoření ID zařízení. V průběhu práce bylo vymyšleno hned několik způsobů realizace identifikačního čísla zařízení. Jsou zde asi dvě základní cesty. První je hardwarová. V tomto případě by bylo ID vytvořeno pomocí komponenty umístěné přímo na desce plošných spojů. Nejjednodušší volba ID může být provedena přímo zapojením (např. na jeden z portů se vhodně zapojí logické signály v určité kombinaci). Popsaný způsob má velkou nevýhodu v nutnosti mít pro každé zařízení speciální návrh. Po výrobě takového zařízení je ID neměnné bez zásahu do DPS. Další způsob vytvoření ID by mohl vypadat například jako vhodně uzpůsobená dvouřadá pin-lišta připojená na jeden z portů mikrokontroléru. Volba ID by se prováděla použitím propojek (tzv. jumperů). Výhodou tohoto řešení je jednotný návrh pro všechna hlasovací zařízení a tak i možnost sériové výroby. Po finanční stránce věci je toto řešení z hardwarových způsobů to nejlevnější. Nevýhoda je zde však v nutnosti rozebrat zařízení pokaždé, když je třeba změnit jeho ID (tento jev by však neměl být nijak častým). Elegantnější, avšak mírně nákladnější verzí hardwarové volby ID je použití DIP přepínače. Takový přepínač je zobrazen na obrázku 5.7 b). Výhodou řešení pomocí DIP přepínače je možnost nechat jej přístupný i přes kryt zařízení.



Obr 5.7: a) Svorkovnice s propojkou (tzv „jumperem“). b) DIP přepínač

Další cesty jak v zařízení vytvořit ID jsou pomocí vhodné úpravy programu (softwarové). Opět jsou zde hned minimálně tři možnosti jak ID v zařízení realizovat. Prvním způsobem může být pro každé zařízení vytvořen speciálního programu, v kterém již bude ID definováno. Nevýhoda je v nutnosti mít tolik verzí programu, kolik je hlasovacích zařízení. Další možností je uložení ID do vnitřní EEPROM paměti mikrokontroléru. Toho se dá dosáhnout buď hned při programování (jednodušší cesta) nebo vhodně uzpůsobeným programem, přes nějž půjde ID kdykoliv nastavit.

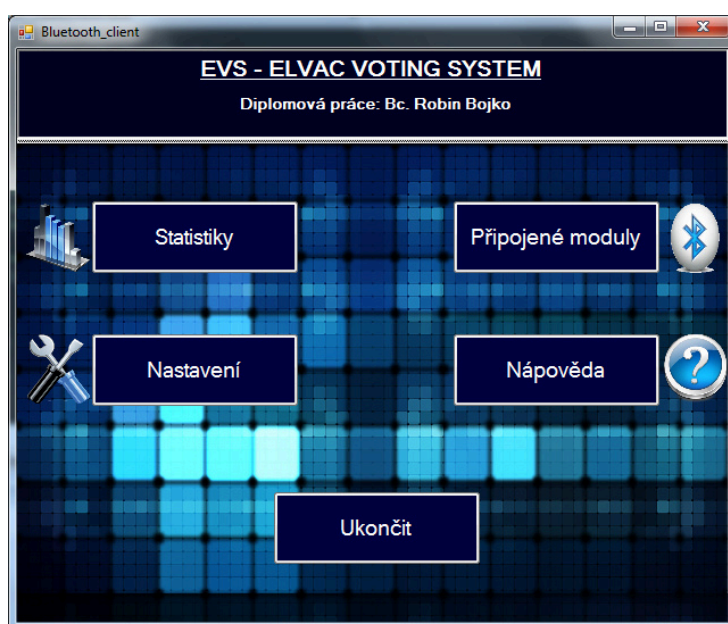
Poslední jmenovaná možnost je asi neoptimálnější, avšak dává uživateli možnost změnit v průběhu hlasování ID svého zařízení ,a tak zavléci do hlasovacího procesu chybu. Z počátku byl vyvíjený hlasovací systém naprogramován tímto způsobem, avšak metoda pro zápis do EEPROM paměti v ní často generovala chyby. Proto bylo od tohoto způsobu upuštěno a ID v zařízení je realizováno uložení do paměti EEPROM při nahrávání firmware do mikrokontroléru. Tento úkon se realizuje přes programovací klientskou aplikaci s názvem PKDesign AVR Xmega PDI programmer ve verzi v0.05. Ta dokáže nahrát do mikrokontroléru firmware do paměti typu flash a také naplnit EEPROM paměť uživatelskými daty (ID). ID se pak v paměti nachází na adrese 0x000. A hned po startu zařízení je z tohoto paměťového místa přečteno. Jedná se o 8-mi bitovou hodnotu a je tak tedy možné rozlišit až 256 zařízení. Pokud by bylo nutné zvýšit počet hlasovacích zařízení nebo zapisovaných ID, je to možné provést změnou dvou řádků v programu. Místo datového typu `uint8_t` by se použil typ `uint16_t` a metoda `eprom_read_word()`. Takto by bylo možné rozlišit více než 65 tisíc zařízení.

6 Testování systému a realizace pilotního provozu.

6.1 Testovací klient pro PC

Aplikace testovacího klienta pro osobní počítač byla vyvinuta pomocí jazyka C# a vývojového prostředí SharpDevelop. Výhodou prostředí je GNU licence. Není zde tedy nutnost platit za zakoupení licence a vývoj aplikací může být prováděn i pro firemní účely.

Vyvinutá aplikace byla kompilována pro .NET Framework ve verzi 4.5 a spustit ji je možné na operačních systémech Windows XP(SP3), Vista, 7, 8. Zmíněný .NET Framework je programový rámec (prostředí, platforma) vyvinutý firmou Microsoft, jenž v sobě slučuje velké množství knihoven a tříd usnadňující programátorovi jeho práci. [8] Kompletní aplikace byla uložena na přiložené CD.



Obr 6.1: Základní obrazovky testovacího klienta

Na obrázku výše je již vidět základní obrazovka uživatelského programu pro vyhodnocení průběhu hlasování. Základní obrazovka slouží jako menu, z kterého je možné se přepnout na čtyři další obrazovky nebo ukončit funkci programu. Pomocí programu lze vygenerovat statistiky (vyhodnocení voleb jednotlivých zařízení). Dále lze zobrazit přehled připojených zařízení, jež se vypisují do přehledné tabulky. V tabulce je vidět typ rozhraní, přes které je dané zařízení připojeno, je vidět identifikaci zařízení a také volbu provedenou zařízením.

V obrazovce s nastavením je možné povolit nebo zakázat jednotlivé komunikační rozhraní pomocí vhodně umístěných a popsanych „checkboxů“. Navolené nastavení se ukládá do souboru s příponou .csv a do složky, ve které je umístěn i program.

Čtvrtá a poslední obrazovka, kterou si je možné zobrazit, slouží jako nápověda k programu. Díky jednoduchosti celé aplikace je možná zbytečná, avšak pro méně chápavé uživatele může být přínosem.

Vyvinutý testovací klient používá několika externích knihoven pro práci s jednotlivými typy rozhraní. Tyto knihovny byly přidány do referencí a také byly inicializovány pomocí příkazu `using` v deklarační části programu.

Celá aplikace využívá jednoho jmenného prostoru, jedné základní třídy a jedné třídy pro realizaci komunikačního protokolu. Díky použití sériového portu byla však rozdělena do dvou vláken. S rozdělením aplikace do dvou či více vláken sebou však vždy nese komplikace spojené s přístupem vláken ke společným prostředkům. Ve vyvíjené aplikaci se těmito sdílenými prostředky rozumí data přicházející ze sériového portu. Vznikly tedy dvě kooperující vlákna, z nichž jedno se chová jako producent (sériový port) a druhé jako konzument (vlákno s GUI).

Synchronizační problém typu producent-konzument se nejčastěji řeší založením bufferu (vyrovnávací paměť), jenž je plněn producentem a vyprazdňován konzumentem. Tak je zajištěno, že konzument neztratí žádná data vyprodukovaná vláknem sériového portu. V jazyce C# a prostředí .NET se dá vyrovnávací paměť (buffer) realizovat jako řada/fronta označeno v prostředí jako `Queue`. Vytvořený objekt typu `Queue` pak musí být veřejný (klíčové slovo `Public`). Producent pak frontu dokáže plnit pomocí metody `.Enqueue()` a konzument vyprazdňovat pomocí příkazu `.Dequeue()`. Práce s frontou je velice jednoduchá.

Pro komunikaci pomocí sériového portu a bluetooth lze použít knihovnu `System.IO.Ports`. Zde je definován sériový port počítače. Sériový port se přidá do GUI jako komponenta. Velká výhoda použití portu jako komponenty je v tom, že po příjmu dat je schopna vyvolat událost a tak obsloužit příjem. Data přijímaná sériovým portem jsou ukládány do příchozího bufferu (vyrovnávací paměti). Z něj se dá příchozí zpráva vyčíst pomocí příkazu `.ReadExisting()`.

```
void SerialPort1DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    if(serialPort1.BytesToRead>10)
        data_serial.Enqueue(serialPort1.ReadExisting());
}
```

Metoda pro příjem je naznačena ve výpisu výše. Je vidět, že příjem dat ze sériového portu je otázkou několika řádků a příkazů. Podmínka je zde z důvodu, aby byla přečtena najednou celá příchozí zpráva (aby se nedělila a nezpracovávala ve více krocích).

Vyhodnocení průběhu hlasování a přijatých dat pak probíhá v základním vlákně s GUI. V tom je definovaná komponenta časovače pojmenovaná jako `Timer2`. Tato komponenta je nastavena tak, aby každých 100 ms vyvolala událost `Timer2Tick()`. V události je pak naprogramován algoritmus pro vyhodnocení voleb přijatých linkou USART. Algoritmus je dobře pochopitelný ze zdrojového kódu, jenž je vhodně komentován.

6.2 Měření dosahu zařízení

Měření bylo provedeno jak v interiéru bytu, tak i na volném prostranství. Při prvním měření tedy v interiéru bytu byl úspěšný přenos dat uskutečněn na vzdálenost 9,5 m. Jako vyhodnocovací počítač byl použit notebook Lenovo Thinkpad R400 s integrovaným bluetooth modulem. Na volném prostranství pak bylo dosaženo vzdálenosti 11 m, při které byla úspěšně provedena výměna dat.

Dosah při tomto měření mohl být ovlivněn jak vysílacím výkonem zkonstruovaného hlasovacího zařízení, tak i dosahem notebooku. Pro vyloučení chyby způsobené krátkým dosahem notebooku byl pořízen externí bluetooth modul do firmy BlueSoleil s deklarovaným dosahem až 100 m. Bohužel po připojení modulu k počítači a instalaci ovladačů modul nebyl schopen správné funkce ani v součinnosti s hlasovacím zařízením ani s mobilním telefonem a bude reklamován. Zařízení byly v software sice dohádátné, ale nedaly se bezdrátově s počítačem párovat.

6.3 Měření spotřeby zařízení

Při vývoji nového zařízení je nutné také počítat s jeho budoucí spotřebou. Ve fázi návrhu je ji možné odhadnout pomocí prostudování firemní dokumentace k jednotlivým použitým součástkám. Při testování by však měla být spotřeba energie změřena. Znat tento parametr je pak velice důležité hlavně při napájení z baterií, pro správné stanovení pohotovostní doby systému.

Podmínky při měření:

Napájecí napětí: 15V

Měřicí přístroj: UNIT-T UT33C

Teplota v místnosti: 23,5 °C

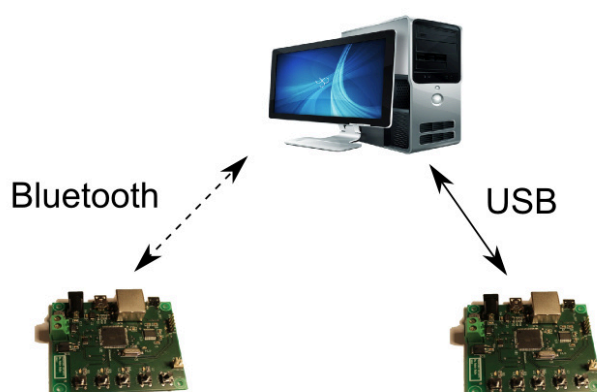
Stav zařízení	Bluetooth modul	MAX3223	Počet zapnutých LED	Spotřeba [mA]
Režim snížené spotřeby	NE	NE	0	0,74
Zařízení zapnuto	ANO (připojeno)	ANO	0	10,3
Zařízení zapnuto	ANO (párování)	ANO	0	13,2 - 13,7
Zařízení zapnuto	ANO (párování)	ANO	5	54,1 – 57,6
Zařízení zapnuto Stisknutí tlačítka	---	---	---	93,1 (37,1)

Tab6 : Výsledky měření spotřeby zařízení

Z výsledků měření vyplývá, že největší spotřeba zařízení je logicky při sepnutí všech LED a zapnutí jak RS232 převodníku tak i bluetooth modulu. Při návrhu chladiče stabilizátoru byl vypočten teoreticky proud protékající zařízením v zapnutém stavu. Z měření je vidět, že je tento proud poloviční. Překvapením však byl odběr tlačítek, jenž jsou napájeny přes vnitřní pull-up rezistory. Každé stisknutí tlačítka zvýšilo proud protékající zařízením o 37,1 mA. Pro integrovaný stabilizátor ani pro napájení přes USB však tyto hodnoty nejsou ani zdaleka kritické.

6.4 Realizace testovacího provozu

Testovací provoz proběhl v domácích podmínkách za použití notebooku vybaveného bluetooth modulem a dvou vyrobených prototypů hlasovacího zařízení. Na notebooku byla spuštěna vytvořená vyhodnocovací klientská aplikace. Jedno ze zařízení bylo připojeno k počítači pomocí USB sběrnice a druhé bezdrátově pomocí bluetooth. Situaci znázorňuje následující obrázek.



Obr 6.2: Schéma testovacího řetězce

Po spuštění obou zařízení (pomocí tlačítka volby) se zařízení začaly synchronizovat s počítačem a hledat si nejvhodnější komunikační standard. Při synchronizaci zasílají zprávy ve tvarech EVSxxx_0U0:0:0 (viz. 5.7.2 Komunikační protokol). Pokud klientská aplikace tuto zprávu zaznamená, odpoví zařízení zasláním potvrzovací zprávy. Systém je od tohoto okamžiku schopen hlasovat.

V klientské aplikaci se v sekci „Připojené moduly“ zařízení přidá do tabulky, z které je patrné, přes jaký typ rozhraní je připojeno, jaké je jeho ID, jakou volbu provedlo a v jaký čas byla volba provedena. V sekci „Statistiky“ je pak patrný výsledek hlasování (viz obrázky zachycující jednotlivé obrazovky klientské aplikace, jež byly vloženy do příloh).

Testování proběhlo bez komplikací. A až na počáteční prodlevu při automatickém vybírání komunikačního kanálu byl hlasovací proces velice rychlý a odezva zařízení krátká.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a sestavit minimálně dva prototypy hlasovacího zařízení dle požadavků firmy ELVAC a.s. a za pomoci počítače s integrovaným bluetooth modulem otestovat funkci vyvinutých zařízení.

Při práci jsem se snažil postupovat přesně podle osnovy uvedené v zadání práce. Nejprve jsem provedl analýzu trhu s konkurenčními systémy. Po konzultaci se zadavatelskou firmou jsem si nastudoval nutnou teorii a navrhnul jsem koncept v podobě blokového schématu. Vytvořený koncept se mi povedlo rozvinout a ke každému bloku navrhnout více možných řešení. Pro každý blok bylo dle firmou a mnou zvolených kritérií vybráno pouze jedno nejvhodnější řešení.

Po vytvoření elektronického schéma a navržení první desky plošného spoje s následnou konverzí do 3D zobrazení proběhla na sídle zadavatelské firmy konzultace, na níž byly vzneseny připomínky a rady pro další vylepšení celého systému. Všem připomínkám jsem vyhověl a přepracoval návrh ke spokojenosti zadavatele. Na další konzultaci již bylo vše schváleno.

Zadavatelská firma mi nabídla výrobu desek plošných spojů a nákup součástek. Tuto možnost jsem uvítal a po převzetí zmíněných součástí jsem sestavil dvě hlasovací zařízení. Pro vyvinuté zařízení jsem dále naprogramoval řídicí firmware a také testovací klientskou aplikaci pro osobní počítač.

Výsledkem je funkční zařízení schopné provést hlasování (vybrat si ze čtyř možností a vybranou volbu potvrdit). S nadřazeným vyhodnocovacím počítačem je schopno komunikovat po sériové lince, pomocí USB sběrnice a také bezdrátově pomocí bluetooth modulu. Vyvinuté zařízení má sestavený variabilní systém napájení. Může být napájeno síťovým adaptérem (s napětím o velikosti v rozsahu 5-16V). Dále může být napájeno pomocí vestavěného akumulátoru nebo baterie přes instalovanou svorkovnici. V případě vestavění akumulátoru je možné tento akumulátor nabíjet připojením nabíječky přes konektor externího zdroje. Poslední možností jak napájet zařízení je přímo z vyhodnocovacího počítače pomocí USB sběrnice.

V průběhu práce na zařízení se vyskytlo několik problémů. Některé se týkaly chyb provedených při návrhu prototypů. Tyto chyby byly zjištěny při oživování desek plošných spojů. Úpravy pak byly provedeny jak na DPS tak i v návrhu. Do příloh byla vložena verze návrhu, která je bez chyb. Další chyby se pak vyskytly při vývoji programů. Hlavní problém byl v tom, že mikrokontrolér má možnost použít několik systémů vnitřního časování. Při spuštění používá základní 2 MHz oscilátor a při práci s USB používá laditelný vnitřní oscilátor. Použití linky USART je pak založeno na přesném nastavení časování jinak se zařízení nepojí. Vhodné nastavení však bylo zjištěno (velkou pomocí mi byl osciloskop připojený na datové linky) a problém s časováním byl vyřešen.

Asi jediná menší nevýhoda je v dosahu bluetooth modulu. Při volbě modulu jsem vycházel z článku citovaného v odkazu [12], zde byla na volném prostranství provedena komunikace na vzdálenost až na 72 m. V mém případě se mi povedlo provést úspěšnou výměnu dat na vzdálenost 9,5 m. Tak krátký dosah mohl být způsobený malým dosahem zařízení nebo i notebooku, na kterém bylo provedeno testování. Pro zvýšení dosahu notebooku byl koupen bluetooth modul firmy BlueSoleil s deklarovaným dosahem až 100m. Modul však nebyl funkční a bude reklamován. Dosah zařízení se však dá velice jednoduše zvýšit použitím výkonnějšího typu bluetooth modulu. Místo modulu BTM-112 doporučuji použít modul BTM-222 s dosahem až 100 m a asi 4,5 krát vyšším vysílacím výkonem.

Oba moduly mají shodné rozmístění pájecích konektorů a je možné je mezi sebou zaměnit bez provedení složitých úprav ve schématu.

Další možná inovace práce by mohla spočívat v záměně tlačítkových spínačů v ovládacím panelu za dotyková tlačítka vyrobené na základě QTOUCH technologie podporované použitým mikrokontrolérem. Na řídicím čipu je také několik volných komunikačních linek typu UART pro připojení dalších periférií jako jsou například RFID moduly nebo čtečky identifikačních karet. Zlepšovat se také jistě dá jak vyvinutý testovací klient pro počítač, tak i firmware.

8 Literatura

- [1] BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK *Mikroprocesorová technika: Práce s mikrokontroléry řady ATMEL AVR ATXmega A4 - ATXmega16*. 1. vyd. BEN, 29-12-2011. ISBN 978-80-7300-4.
- [2] W. KERNIGHAN, Brian a Dennis M. RITCHIE. *Programovací jazyk C*. 1. vyd. COMPUTER PRESS, 03.03.2006. ISBN 9788025108970.
- [3] HANÁK, Jan. *C# 3.0: Programování na platformě .NET 3.5*. Zoner Press, 2009. ISBN 978-80-7413-046-5.
- [4] Šandera, J.: *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*, BEN – Technická literatura, Praha 2006, ISBN 80-7300-181-0
- [5] XMEGA A MANUAL: 8-bit Atmel XMEGA A Microcontroller. [online]. s. 432 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8077.pdf>
- [6] Datasheet - ATxmega128. [online]. s. 116 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1503981.pdf>
- [7] Datasheet k BTM-112. [online]. s. 8 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Bluetooth/BTM112_wATcommands.pdf
- [8] Datasheet k LF33CDT: VERY LOW DROP VOLTAGE REGULATORS WITH INHIBIT. [online]. s. 35 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/0/00ciacs9p08x8trdlw1u0ap1z9yy.pdf>
- [9] Materiály pro desky plošných spojů. [online]. s. 7 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~vac174/vyuka/KZPE/Studijni_opory/Desky_plosnych_spoju.pdf
- [10] Bitart s.r.o: Bezdrátový hlasovací systém. [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://www.bitart.cz/index.php?n=5>
- [11] WiVO Congress. [online]. s. 5 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: www.wivo.cz/WiVo-Congress.pdf
- [12] Hlasovací systémy. [online]. s. 4 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: http://everest.natur.cuni.cz/konference/2008/sponzori/av_media/pdf/hlasovaci_systemy.pdf
- [13] USB - Universal Serial Bus: Popis rozhraní. [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/docs/usb/usb.html>
- [14] COUFAL, Tomáš. Softwarová implementace USB pro mikrokontroléry AVR. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/software/softwarova-implementace-usb-pro-mikrokontrolery-avr.html>
- [15] UniProg-USB - univerzální programátor v1.0. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://pk-design.net/HtmlCz/ProgCables.htm>
- [16] Bluetooth. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

- [17] Měření Bluetooth modulů. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z:
http://pandatron.cz/?2774&mereni_bluetooth_modulu
- [18] Serial Peripheral Interface Bus. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- [19] Arduino. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/>

9 Seznam příloh

A) Seznam použitých součástek.....	I
B) Schéma hlasovacího systému	II
C) Motiv DPS horní strana.....	III
D) Motiv DPS spodní strana.....	III
E) Rozmístění součástek horní strana.....	IV
F) Rozmístění součástek horní strana.....	IV
G) Uživatelská příručka.....	V
H) Fotodokumentace práce a 3D návrh.....	VI
I) Realizace pilotního provozu.....	VII
I) Modul BTM112 měření spotřeby.....	VVIII,IX

CD s elektronickými přílohami:

Všechny vyvinuté programy

Kompletní fotodokumentace práce

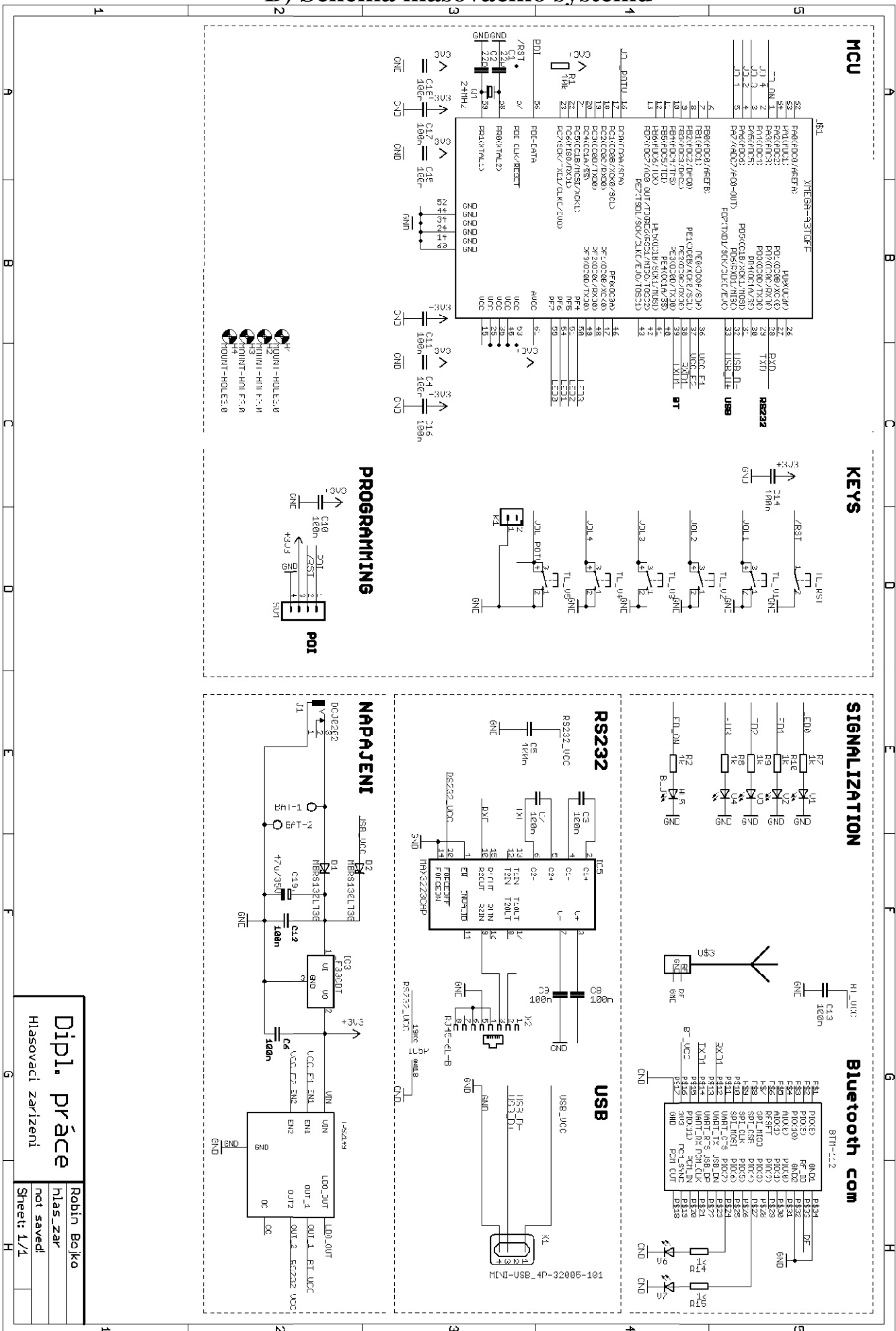
Návrh schémat a DPS v programu Eagle

Text práce

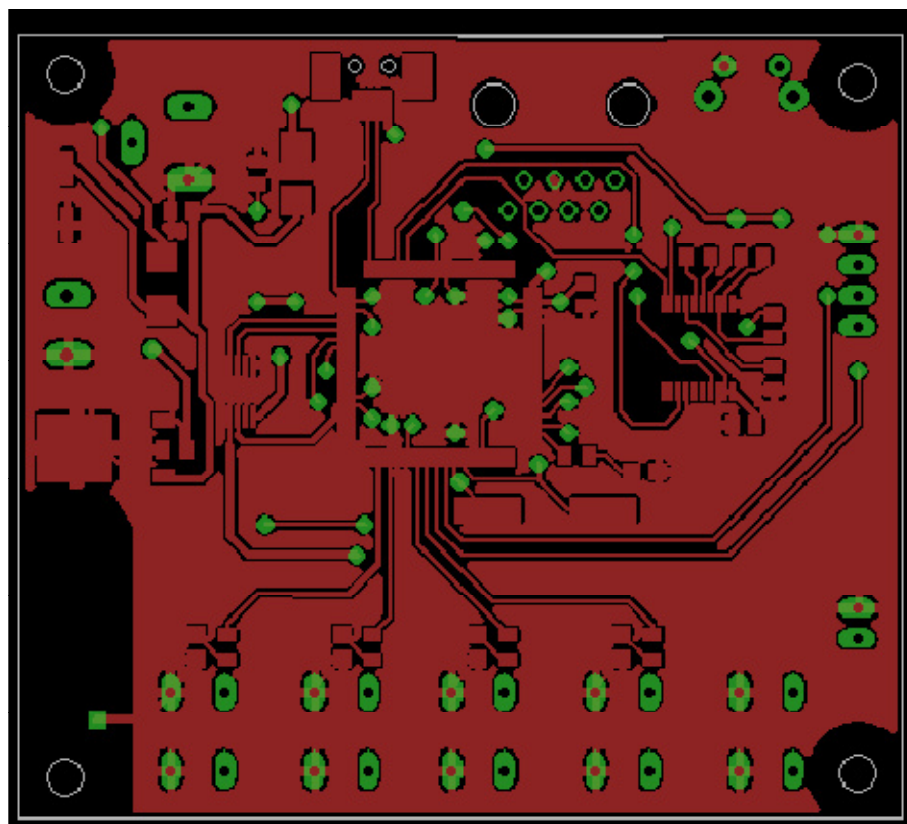
A) Seznam použitých součástek

Komponenty	pouzdro	počet	cena	cena celkem
Kondenzátory				
22p	0805	2	1,2	2,4
1u	0805	4	1,3	5,2
100n	0805	7	1,4	9,8
100n	0603	10	1,5	15
47u/35V	SMD	1	3	3
LED diody (SMD)				
Modrá	0805	4	3	12
Červená	0805	1	4	4
Zelená	0805	2	5	10
Rezistory				
1k	0805	8	1,1	8,8
10k	0805	1	1,2	1,2
68R	0805	2	1,3	2,6
1k5	0805	1	1,4	1,4
Integrované obvody				
Převodník MAX3223CAP+	SSOP	1	107	107
Stabilizátor LF33CDT	TO252	1	28	28
Dual switch TPS2149IDGN	MSOP	1	34,42	34,42
Mikrokontr. ATxmega128A3	TQFP64	1	80	80
Bluetooth mod. BTM 112	BTM-112	1	190	190
Další				
Shotkyho dioda MBRS130LT3G	DO-214AA	2	12	24
Konektor ARK500/2		1	3,6	3,6
Konektor PSH02		1	1	1
Konektor mini USB SMD	SMD	1	11	11
Konektor DCJ0202		1	5	5
Konektor RJ45		1	13	13
Zenerova dioda BZX384-C3V6	SOD-323	2	1	2
Oboustranný kolík XINYA ASS10520G	5x1	1	3	3
Spínač - tlačítkový 90°	do DPS	1	3,1	3,1
Spínač - tlačítkový	do DPS	5	3,1	15,5
Krystal 24 MHz	SMD	1		11
Cena celkem (Kč) = 601,02				

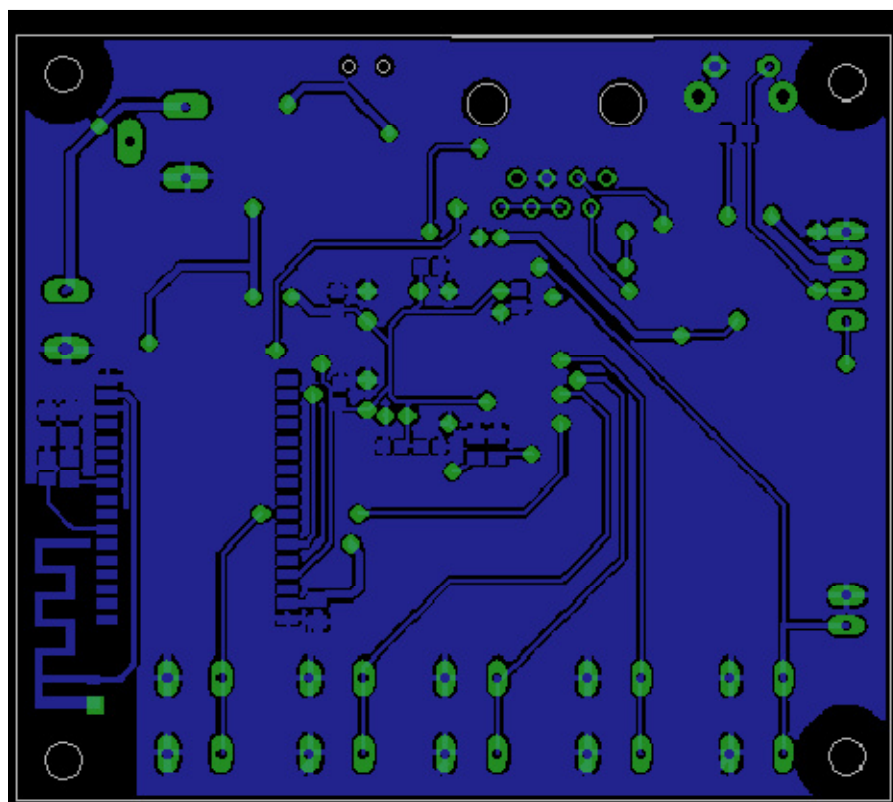
B) Schéma hlasovacího systému



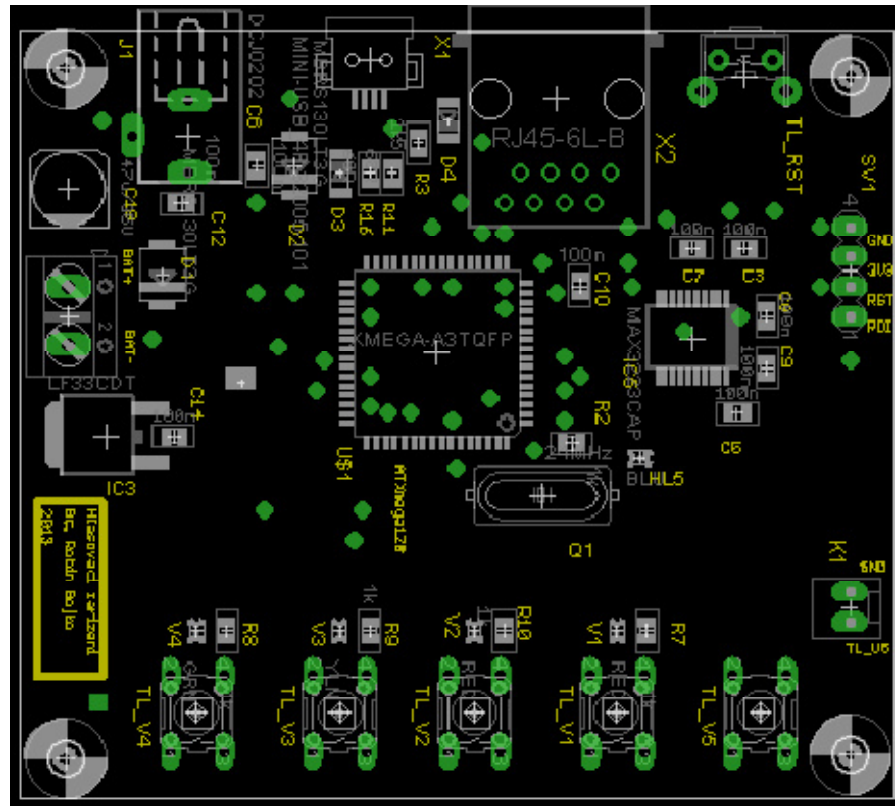
C) Motiv DPS horní strana



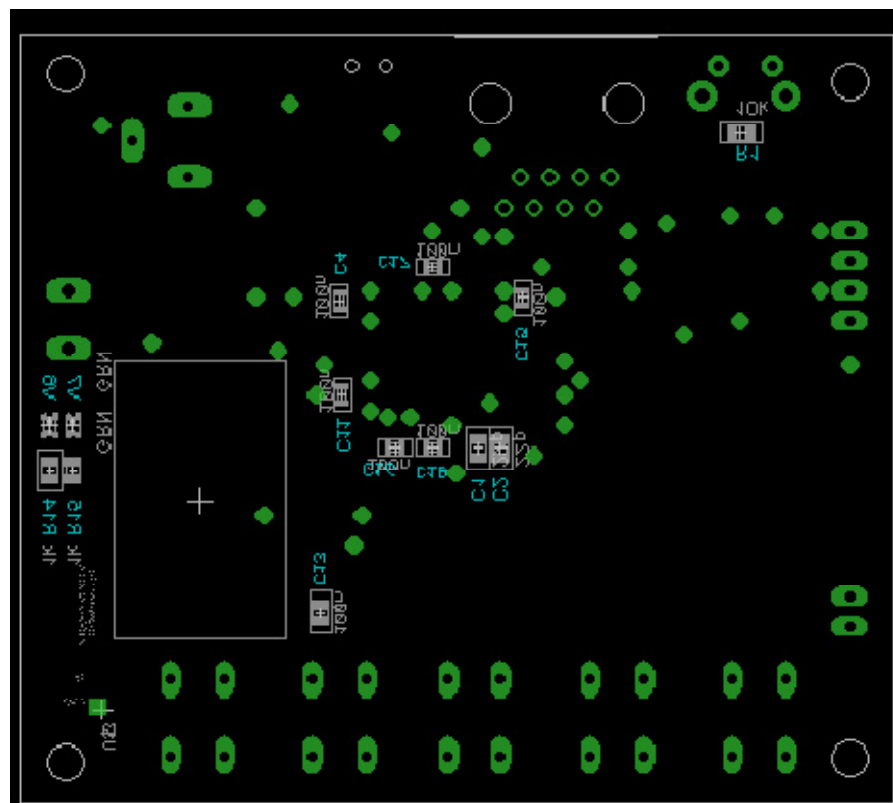
D) Motiv DPS spodní strana



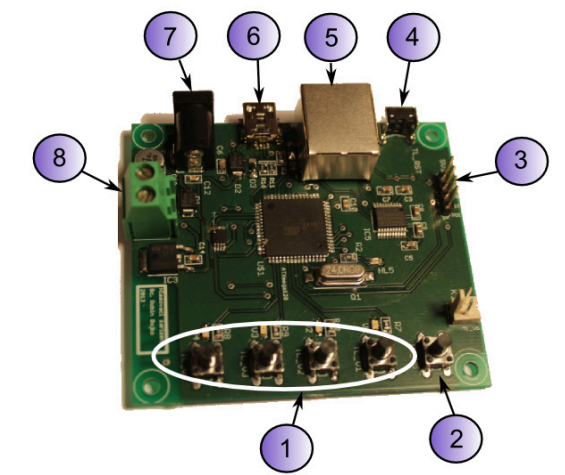
E) Rozmístění součástek horní strana



F) Rozmístění součástek spodní strana



G) Uživatelská příručka



Legenda:

- 1) 4x tlačítka volby
- 2) Potvrzovací tlačítko
- 3) PDI programovací rozhraní
- 4) Resetovací tlačítko
- 5) RJ45 konektor RS-232 linky
- 6) USB MINI B konektor
- 7) Externí napájení
- 8) Svorkovnice pro připojení baterie

Po připojení k napájení se nic zvláštního nestane (zařízení se samo převede do PowerDown módu). K zapnutí zařízení je možné použít jednoho ze čtyř tlačítek volby (1). Naproti tomu vypnutí se provede stisknutím a přidržením potvrzovacího tlačítka (2) pro dobu alespoň 5 sekund.

Pro nahrání programu do flash paměti mikrokontroléru je možné použít PDI programovací rozhraní (3). Pro reset mikrokontroléru lze použít resetovací tlačítko (4) umístěné na straně konektorů.

Propojení s nadřazeným systémem je možné provést pomocí sériového rozhraní a konektoru RJ45 (5). Další možností pro propojení s počítačem je pomocí USB konektoru (6), tuto sběrnici lze použít také k napájení zařízení. Pro připojení napájení lze použít také externí nabíječku a to přes konektor externího napájení (7). Externí napájení lze také přivést na svorkovnici (8) jenž může sloužit také pro připojení akumulátoru.

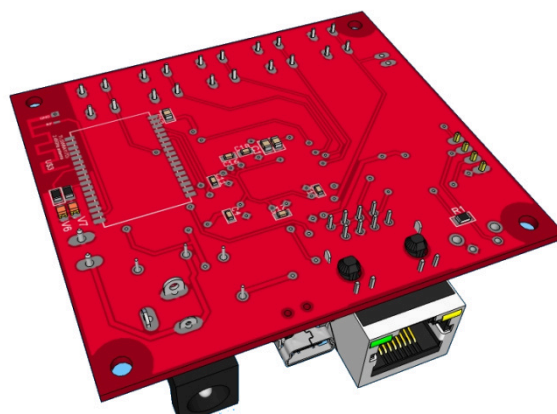
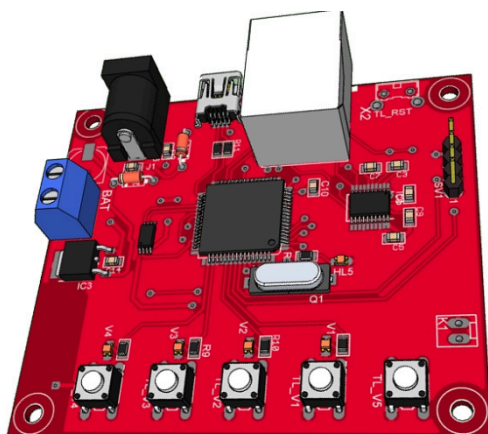
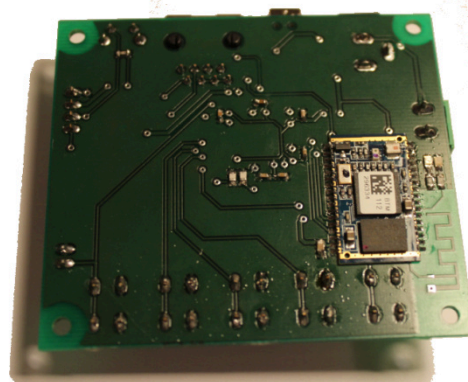
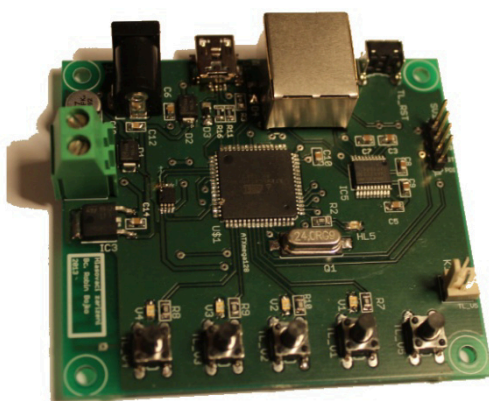
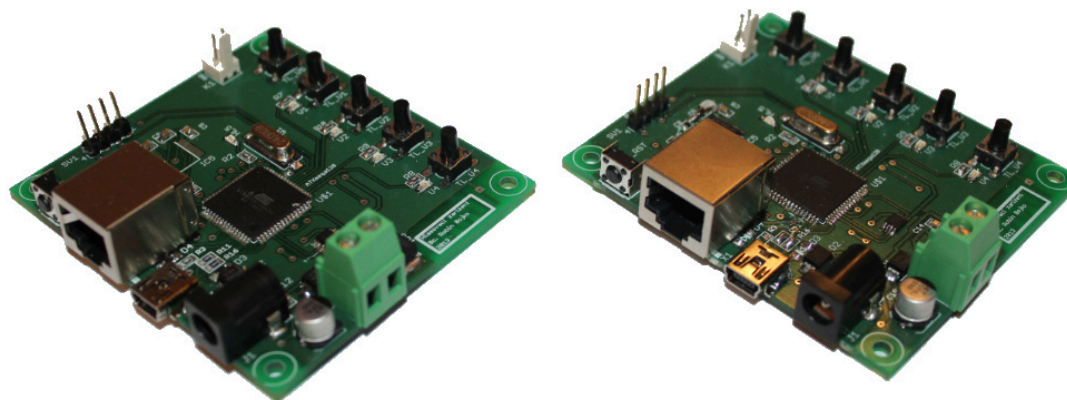
Upozornění

Při manipulaci s deskou plošného spoje je díky absenci krytu použít uzemňovací podložku a náramek a tak ochránit zařízení před působením statické elektřiny. Na desce jsou totiž citlivé součástky vytvořené unipolární technologií.

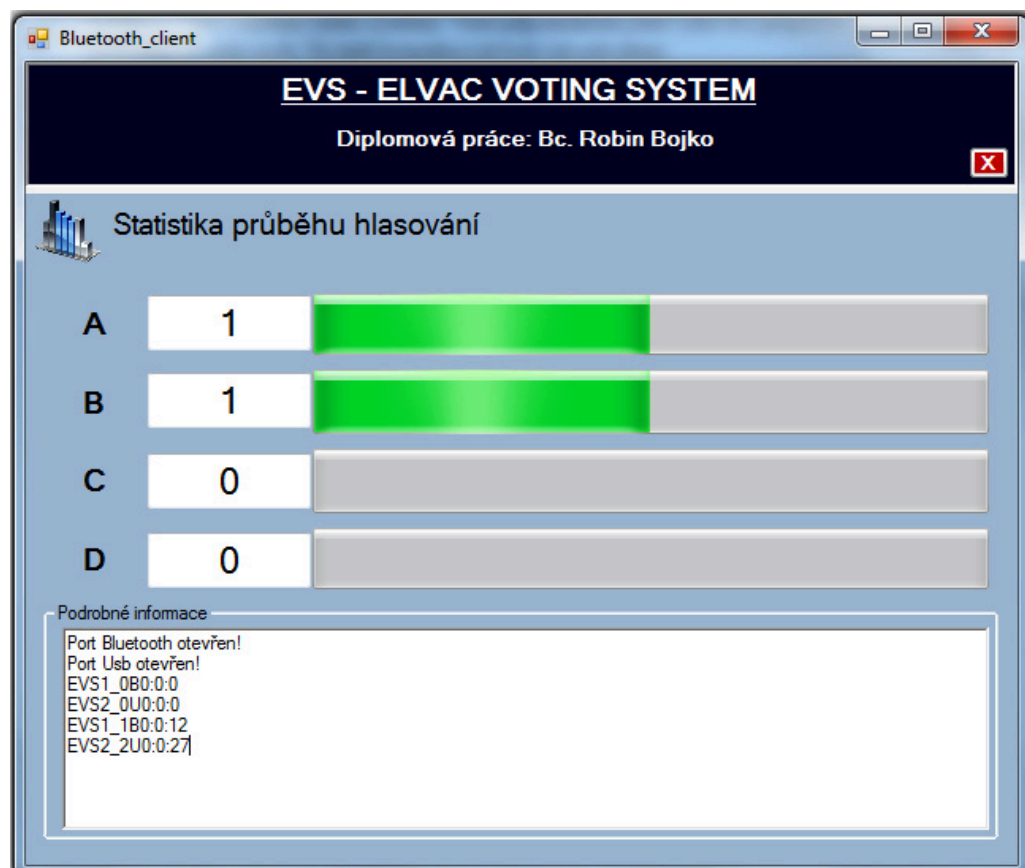
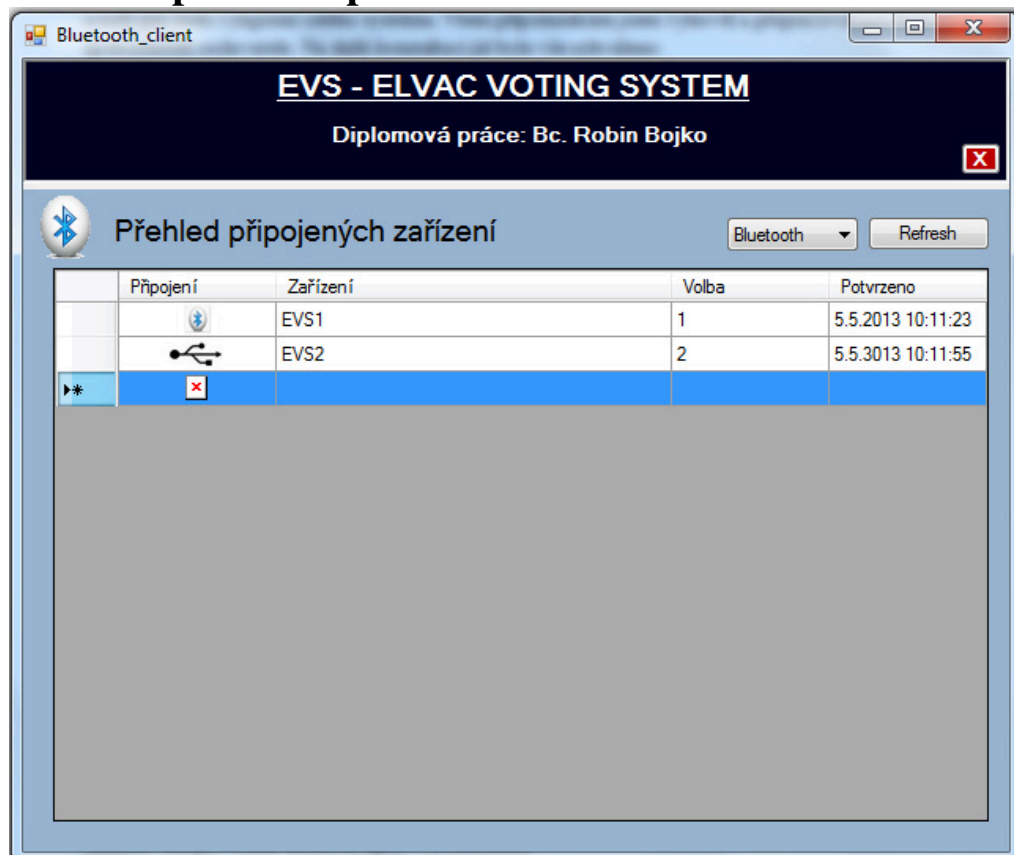
Je třeba brát v potaz, že je použit oboustranný plošný spoj a nemůže být tedy položen na vodivou podložku. Při manipulaci také doporučuji sundat si z rukou šperky a náramky.

Při připojení napájecího napětí je třeba dodržet polaritu napětí (kontrola dle návrhu). Při nedodržení zde uvedených podmínek hrozí zničení hlasovacího zařízení nebo připojeného hardware.

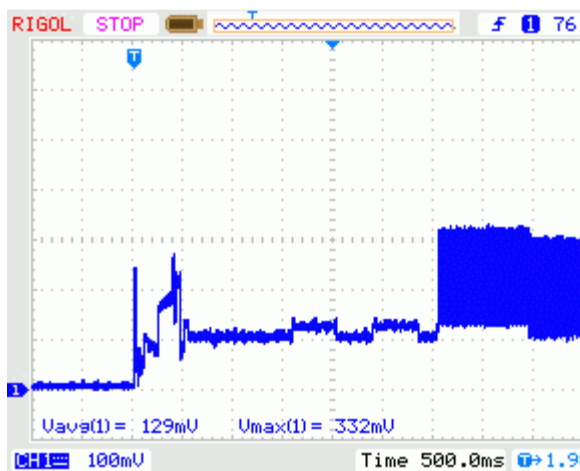
H) Fotodokumentace práce a 3D návrh



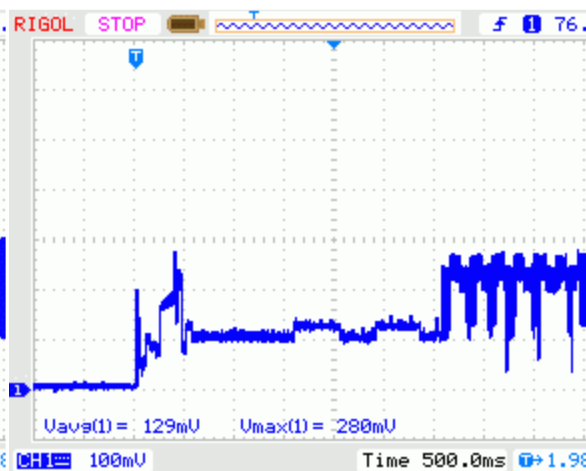
I) Realizace pilotního provozu



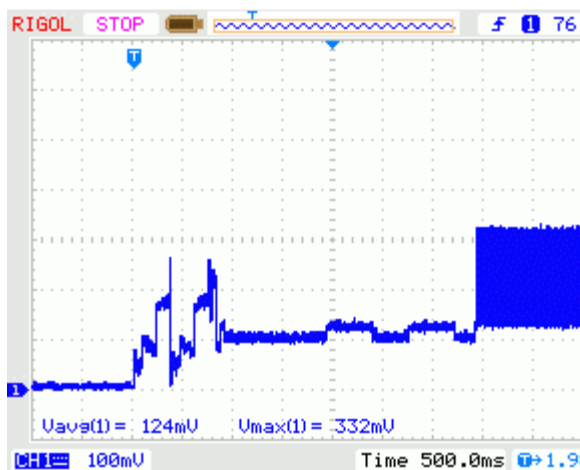
J) Modul BTM112 měření spotřeby



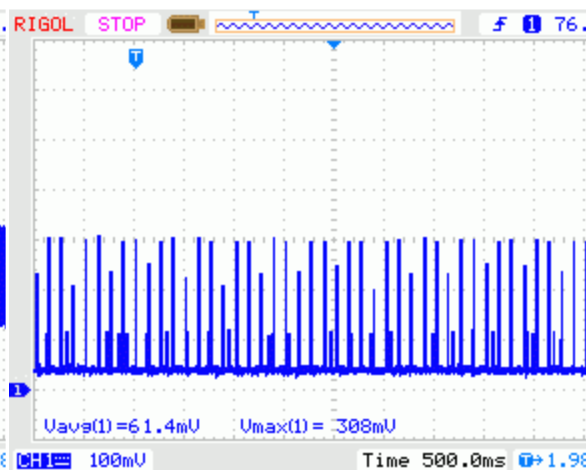
Obr. I.1: Zapnutí modulu bez navázání komunikace (režim master)[17]



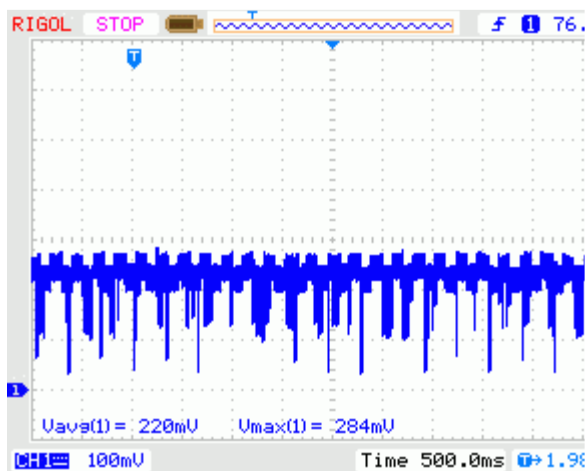
Obr. I.2: Zapnutí modulu bez navázání komunikace (režim slave) [17]



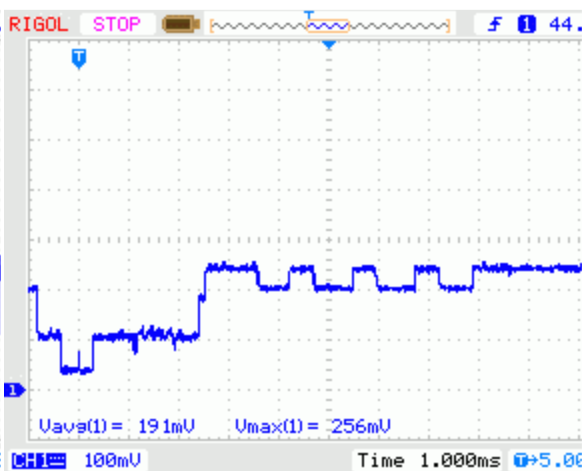
Obr. I.3: Zapnutí modulu a automatické navázání komunikace (master) [17]



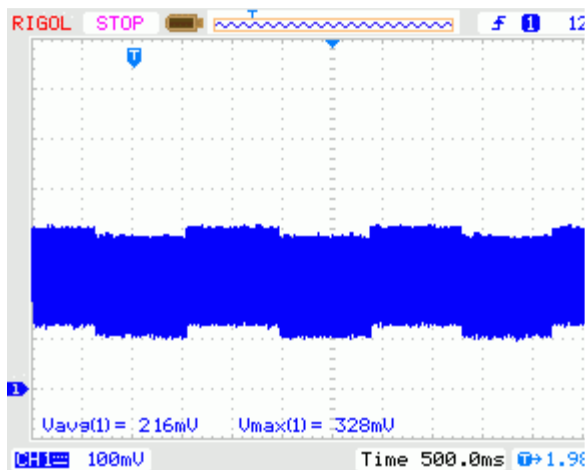
Obr. I.4: Průběh proudu při navázané komunikaci (master) [17]



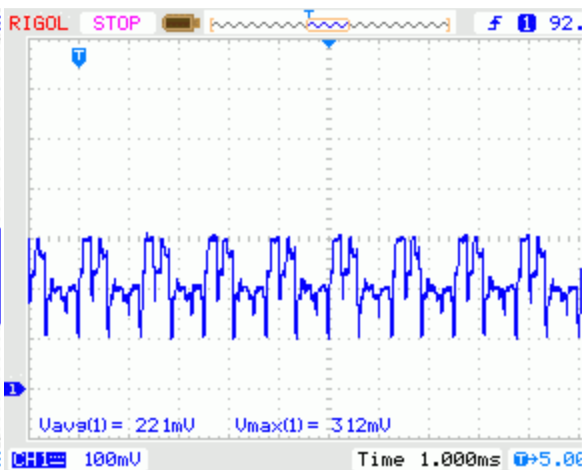
Obr. 18: Klidový stav (slave) [17]



Obr. 19: Klidový stav v detailu (slave) [17]



Obr. 1.5: Klidový stav (master) [17]



Obr. 1.6: Klidový stav v detailu (master) [17]